

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A
DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND
COMPONENTS

SLEDOVÁNÍ TRVANLIVOSTI ALKALICKY **AKTIVOVANÝCH MATERIÁLŮ**

DURABILITY OF ALKALI-ACTIVATED MATERIALS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

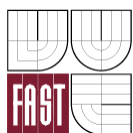
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MILAN ZOUREK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. LENKA BODNÁROVÁ, Ph.D.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Milan Zourek

Název Sledování trvanlivosti alkalicky aktivovaných materiálů

Vedoucí bakalářské práce Ing. Lenka Bodnárová, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce 10. 3. 2015

Datum odevzdání bakalářské práce 27. 5. 2016

V Brně dne 10. 3. 2015

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Drochytka, R. Trvanlivost stavebních materiálů, učební opora VUT Brno, FAST, 2008
Bodnárová, L. Kompozitní materiály, učební opora VUT Brno, FAST, 2007
Hela, R.: Technologie betonu II, učební opora VUT Brno, FAST, 2007
Matoušová, L. Návrh a ověření vlastností alkalicky aktivovaného kompozitního materiálu s vláknovou výztuží. Diplomová práce, VUT Brno, FAST ÚTHD, 2010
Kováčik, P. Návrh nehořlavé matrice pro kompozitní materiál s vláknovou výztuží. Diplomová práce, VUT Brno, FAST ÚTHD, 2007
Panský, M.: Návrh geopolymerní matrice s využitím druhotných surovin. Diplomová práce, VUT Brno, FAST ÚTHD, 2008
Sborníky z tuzemských a zahraničních konferencí (r. 2011-2015)
České a zahraniční normy.
Internetové zdroje.

Zásady pro vypracování

Alkalicky aktivované materiály jsou perspektivní skupinou materiálů. Možnosti využití jsou například pro aplikace v agresivních prostředích. V teoretické části bakalářské práce proveďte rešerši požadavků na vlastnosti betonových kanalizačních šachet a kanalizačního systému. Sumarizujte požadavky na vlastnosti betonu používaného při výrobě kanalizačního systému. Uveďte vlastnosti obkladů, které jsou používány v kanalizačních systémech. Proveďte návrh složení alkalicky aktivovaného materiálu s odolností vůči působení prostředí v kanalizačních systémech. Ověřte vlastnosti tohoto materiálu. Zaměřte se na sledování odolnosti povrchu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek, přídržnost k betonovému podkladu, odolnost vůči obrušování a mrazuvzdornost. Minimální rozsah práce 45 stran.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

3.

.....
Ing. Lenka Bodnárová, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá trvanlivostí alkalicky aktivovaných materiálů a jejich využitím v agresivních prostředích, zejména pak v kanalizačních systémech.

V první polovině teoretické části jsou sumarizovány požadavky na betonové kanalizační trouby a šachty. Jsou zde zmíněny vlastnosti nejčastěji používaných obkladů a povrchových úprav betonových kanalizačních systémů. Druhá polovina teoretické části se zabývá alkalicky aktivovanými materiály, surovinami na jejich přípravu a jejich trvanlivostí. Konkrétně pak síranovou odolností, chloridovou odolností, odolností vůči kyselinám, odolností vůči abrazi, porozitou, mrazuvzdorností, tenkovrstvými aplikacemi a vznikem trhlin.

V experimentální části bylo navrženo pět směsí alkalicky aktivovaného materiálu pro aplikaci v agresivním prostředí kanalizace. V čerstvém stavu byla stanovena objemová hmotnost a spotřeba materiálu. Bylo sledováno chování v průběhu tuhnutí a tvrdnutí, zejména vznik trhlin. V ztvrdlém stavu byla stanovena objemová hmotnost, pevnost v tlaku, pevnost v tahu za ohybu, přídržnost k betonovému podkladu, tloušťka vrstvy nanesené na betonový podklad, ohrusnost, přídržnost k betonovému podkladu, mrazuvzdornost a odolnost proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek.

Klíčová slova

alkalicky aktivované materiály, trvanlivost, kanalizace, CHRL, mrazuvzdornost, ohrusnost

Abstract

This bachelor's thesis deals with durability of alkali-activated materials and the use of them in aggressive surroundings, especially in sewer systems.

The first half of the theoretical part summarizes requirements for concrete sewer pipes. The most common linings and coatings used in concrete sewer systems are mentioned. The second half of the theoretical part deals with alkali-activated materials, raw materials used for their preparation and their durability. Concretely sulfate attack resistance, chloride attack resistance, acid attack resistance, abrasion, porosity, freeze-thaw resistance, thin layer applications and cracking tendency.

In the experimental part of this bachelor's thesis there were proposed five types of alkali-activated materials application in the aggressive environment of sewer systems. Density and consumption of alkali-activated material by thin layer application was determined as fresh properties. Material was monitored during its solidifying and hardening, especially for crack formation. As hardened properties density, flexural strength, compressive strength, adhesion of thin layer to concrete, thickness of thin layer, freeze-thaw resistance, resistance of surface to water and defrosting chemicals were determined.

Keywords

alkali-activated materials, durability, sewerage, freeze-thaw, frost salt, resistance, abrasion

Bibliografická citace VŠKP

Milan Zourek *Sledování trvanlivosti alkalicky aktivovaných materiálů*. Brno, 2016. 63 s., 6 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Lenka Bodnárová, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. 5. 2016

.....
podpis autora
Milan Zourek

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucí mé bakalářské práce Ing. Lence Bodnárové, Ph.D. za trpělivost a cenné rady při vedení mé bakalářské práce. Rovněž bych chtěl poděkovat Ing. Jaroslavu Válkovi, Ph.D. za rady a pomoc s experimentální částí. Mé díky patří i ostatním zaměstnancům Ústavu technologie stavebních hmot a dílců, kteří mi byli při mé práci nápomocni.

Děkuji i všem svým blízkým za podporu nejen při studiu.

Obsah

I.	ÚVOD	11
II.	TEORETICKÁ ČÁST	12
1	Stokové sítě a kanalizace	12
1.1	Dělení kanalizací	12
1.2	Objekty na stokové síti.....	12
2	Betonové trouby a šachty	13
2.1	Vstupní šachty	13
2.2	Betonové trouby	14
2.3	Technologie výroby trub a šachet	14
3	Požadavky na betonové trouby a šachty.....	16
3.1	Trvanlivost	16
3.2	Mechanické vlastnosti.....	16
3.3	Vodotěsnost.....	17
4	Obklady v kanalizačních systémech	19
4.1	Tavený čedič	19
4.2	Kamenina	20
4.3	Sklolaminát.....	21
4.4	Plasty.....	21
5	Alkalicky aktivované materiály	22
5.1	Historie	22
5.2	Chemická podstata a alkalická aktivace.....	23
5.3	Suroviny	25
5.3.1	Metakaolin	25
5.3.2	Vysokopecní struska.....	26
5.3.3	Elektrárenský popílek	26
5.3.4	Křemičitý úlet.....	27
5.3.5	Aktivátor	27
5.4	Trvanlivost	28
5.4.1	Síranová odolnost.....	29
5.4.2	Chloridová odolnost	29
5.4.3	Odolnost vůči kyselinám	29
5.4.4	Odolnost vůči abrazi	33
5.4.5	Porozita	34
5.4.6	Mrazuvzdornost	35
5.5	Tenkovrstvé aplikace	36
5.6	Smršťování a vznik trhlin	37

III.	CÍL PRÁCE.....	39
IV.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	40
1	Metodika práce	40
2	Charakterizace vstupních surovin	41
3	Receptury	42
4	Příprava a ošetřování zkušebních vzorků	43
4.1	Míchání.....	43
4.2	Trámečky 40 × 40 × 160 mm	43
4.3	Stěrka	43
4.4	Výřezy	43
5	Popis prováděných zkoušek a měření	44
5.1	Objemová hmotnost v čerstvém stavu	44
5.2	Spotřeba materiálu v čerstvém stavu	44
5.3	Tloušťka stěrky	44
5.4	Objemová hmotnost v ztvrdlém stavu	45
5.5	Pevnost v tahu za ohybu.....	45
5.6	Pevnost v tlaku	45
5.7	Obrusnost.....	46
5.8	Přidržnost k betonovému podkladu.....	46
5.9	Mrazuvzdornost	47
5.10	Stanovení odolnosti povrchu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek.....	47
6	Výsledky provedených zkoušek.....	49
6.1	Vlastnosti v čerstvém stavu	49
6.2	Objemová hmotnost a pevnosti v ztvrdlém stavu	50
6.3	Tloušťka stěrky a obrusnost.....	51
6.4	Přidržnost k betonovému podkladu.....	51
6.5	Mrazuvzdornost	51
6.6	Stanovení odolnosti povrchu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek.....	51
V.	VÝSLEDKY A DISKUZE	52
VI.	ZÁVĚR	53
VI.	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	54
VII.	SEZNAM OBRÁZKŮ	59
VIII.	SEZNAM TABULEK	60
IX.	SEZNAM GRAFŮ	61
X.	SEZNAM ZKRATEK	62
XI.	SEZNAM PŘÍLOH	63

I. ÚVOD

Alkalicky aktivované materiály, včetně geopolymérů jsou perspektivním a v oboru stavebních hmot dnes často skloňovaným materiálem. V posledních letech bylo jejich výzkumu a testování věnováno v celém světě velké úsilí.

Možnost jejich využití je velmi široká. V některých aplikacích mohou nahrazovat betony na bázi portlandského cementu, i jiné materiály. Oproti portlandskému cementu jsou alkalicky aktivované materiály ekologičtější, zejména z pohledu emisí CO₂. Surovinami pro přípravu alkalicky aktivovaných materiálů může být metakaolin, nebo sekundární a odpadní suroviny jako jsou popílky, strusky nebo křemičitý úlet. Důležitým aspektem by do budoucna mohla být i cena, která je zejména u odpadních surovin nižší než u portlandského cementu.

Široké spektrum základních materiálů a aktivátorů dává alkalicky aktivovaným materiálům velké množství konečných vlastností, které mohou být kladné i záporné. Alkalicky aktivované materiály často vykazují velmi dobrou pevnost, trvanlivost a odolnost vůči chemickým, teplotním i jiným vlivům.

Tato práce se zabývá možností využití alkalicky aktivovaných materiálů v agresivních prostředích, například v kanalizacích. Výzkumy totiž přisuzují těmto materiálům velmi dobré vlastnosti, které by v mnoha ohledech mohly předčít materiály dosud používané.

II. TEORETICKÁ ČÁST

1 Stokové sítě a kanalizace

Jako stoková síť se označuje soustava stok a objektů na ní vybudovaných (např. vstupních šachet, odlehčovacích komor, uličních a chodníkových vpustí), které slouží k zachycování a odvádění odpadních vod z daného území. [1]

Účelem kanalizace je bezpečný, hospodárný a zdravotně nezávadný odvod odpadních vod. Kvalitní kanalizace a hygienický odvod odpadních produktů jsou základními předpoklady zdravého a čistého životního prostředí. [1] [2]

1.1 Dělení kanalizací

Pokud kanalizace odvádí jednotlivé druhy odpadní vody společně, nazýváme ji **jednotnou**. Jestliže odvádí jednotlivé druhy odděleně (např. splaškovou a dešťovou), nazýváme ji **oddílnou**. Dále můžeme kanalizace dělit na nejčastější gravitační a méně časté tlakové a podtlakové. [1]

1.2 Objekty na stokové síti

Stoková síť je složena z jednotlivých objektů. Jedná se zejména o trubní vedení různých průměrů, vstupní a spojné šachty, šachtové dna, spadiště, skluzy, shybky, dešťové vpusti, odlehčovací komory, separátory a další. Všechny objekty a prvky musí být zejména vodotěsné a z hlediska trvanlivosti odolné vůči korozi, nebo opatřené protikorozní ochranou. [1] [2]

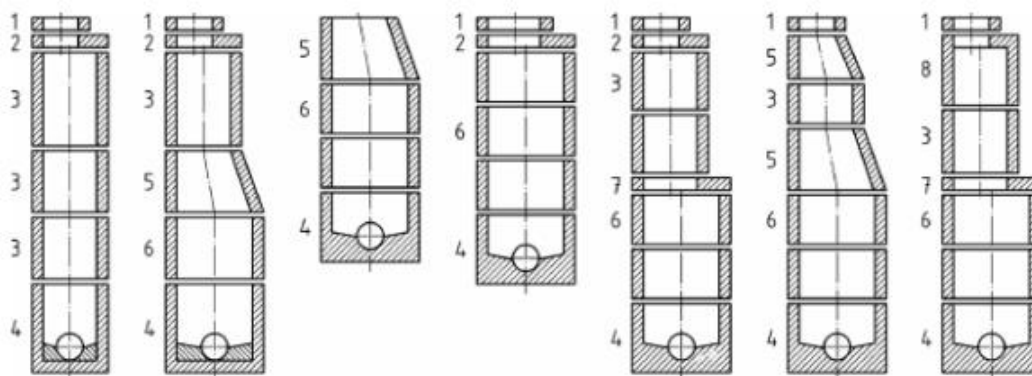
Značnou část sortimentu v kanalizacích tvoří betonové a železobetonové prefabrikované výrobky, zejména betonové trouby a šachty. Trouby a šachty se obvykle vyrábějí z prostého betonu, drátkobetonu a železobetonu.

2 Betonové trouby a šachty

2.1 Vstupní šachty

Jako vstupní šachty označujeme svislé vodotěsné konstrukce ke spojování potrubí. V kanalizačních systémech slouží zejména pro přístup osob za účelem údržby a revize. Mají rovněž funkci rozdělovací a větrací. Vyrábějí se obvykle v průměrech od 250 do 3 000 mm a výšky 1 000 mm. Najdeme je zejména na dopravních plochách pro vozidla nebo pěší. [2] [3] [4]

Šachty jsou tvořeny z betonových prefabrikovaných skruží. Mohou být umístěny i rozšiřující přechodové skruže, pokud se mění světlý průměr šachty po její výšce. V horní části je umístěna vyrovnávací část a zákrytová deska šachty. Pro vstup se umísťují stupadla po vzdálenostech 250 až 350 mm. Stupadla jsou většinou ocelová, potažená plastem. Spodní část tvoří základová část šachty, neboli šachtové dno, které je opatřené žlábkem (kynetou) pro odvod odpadních vod. Kyneta je obvykle obložena taveným čedičem, kameninou, nebo může být provedena jiná povrchová úprava. Vzdálenost dvou vstupních šachet má být maximálně 50 m a u průchozích stok maximálně 200 m. [1] [2] [3] [5]



Obrázek 1 – Popis součástí vstupních a revizních šachet [4]

Legenda

- 1 Vyrovnávací prstenec (kroužek)
- 2 Zákrytová deska
- 3 Šachtová skruž
- 4 Šachtové dno (spodek šachty)
- 5 Kónus (přechodová skruž)
- 6 Vstupní skruž
- 7 Přechodová deska
- 8 Zákrytová šachtová skruž

2.2 Betonové trouby

Trouba je dutý prefabrikovaný dílec z betonu, vyrobený s patkou nebo bez ní, který má stejný tvar vnitřního průměru po celé vnitřní délce dříku (stavební délce), s výjimkou úseku spoje. Spoje stavebních dílců jsou vytvarovány jako hladký konec a hrdlo zahrnující jedno nebo více těsnění. [6]

Betonové trouby mohou být vyrobeny z prostého betonu, železobetonu, předpjatého betonu nebo z betonu s rozptýlenou výztuží. Jsou určeny pro dopravu odpadní vody. Vyrábějí se v různých průměrech od DN 100 mm do DN 4 000 mm, v různých délkách do 2 500 mm a různých tloušťkách stěn od 24 do 150 mm. Trouby bývají kruhového nebo vejčitého profilu. Bývají také opatřeny čedičovou, kameninovou nebo jinou vyzdívkou pro zlepšení odolnosti proti chemické agresivitě a abrazi. [1] [3] [7]

2.3 Technologie výroby trub a šachet

Kanalizační trouby a šachty se vyrábějí na specializovaných, mechanických, zautomatizovaných linkách, které lze různě nastavovat tak, aby bylo možné měnit sortiment (různé světlosti trub a skruží). Vyrábí se čtyřmi základními postupy – lisováním, vibrolisováním, litím a odstředováním. Nejrozšířenější jsou metody vibrolisování a lití. [3] [7] [8]

Při vytváření lisováním dochází ke zhutnění betonové směsi pomocí lisovacího tlaku. Trouby vytvořené lisováním jsou vyráběny v tzv. rourolisech. Při lisování jsou používány zejména suché betonové směsi s maximálním zrnem kameniva 8 až 16 mm. Suchá směs umožňuje okamžité odformování a přesun na zrací plochu. [7]

Zhutňování pomocí vibrolisování je spojení vibrování s lisováním, které navzájem eliminuje nevýhody obou těchto metod. Při vibrolisování působí za vibrace současně i dolisovací přítlak. [7]

Vytváření trub vibrolisováním můžeme rozdělit na vytváření trub vnitřním vibračním jádrem, vytváření trub vnější vibrací a lisováním zdola a vytváření tlakových trub s dodatečným lisováním v radiálním směru. Při výrobě šachtových částí je rovněž možné osazovat přímo do formy plastová nebo ocelová stupadla, která slouží pro zpřístupnění kanalizací pro údržbu. [7]

Při zhutňování odstřediváním působí na betonovou směs odstředivá síla a rovněž vysokofrekvenční vibrace s malou amplitudou, způsobena nerovnoměrným rozložením betonové směsi a vlastním kmitáním formy. Dochází ke snižování vodního součinitele a odvedená voda (kalová) je použita zpět jako část záměsové vody. Na vnějším obvodu se usazují větší zrna kameniva a uvnitř jemnější podíly. Tomu se dá zabránit vícenásobným vytáčením. [7]

Velmi moderní a progresivní způsob vytváření trub je litím samozhutnitelných betonů (SCC - Self-compacting concrete). SCC je beton, který je natolik tekutý, že je schopen bez působení vnějších vlivů vyplnit prostor formy. Musí být i dostatečně soudržný, aby nedocházelo k segregaci nebo krvácení. Tyto vlastnosti zajišťujeme zejména větším množstvím jemných podílů kameniva a použitím superplastifikačních a stabilizačních přísad. Tento způsob je vhodný i pro trouby a šachty, které nemají pravidelný tvar, například vejčité trouby, nebo kolena, odbočky, přípojky a jiné členěné prvky. [7] [8]

3 Požadavky na betonové trouby a šachty

Požadavky na kanalizační trouby a šachty jsou dány mechanickými vlastnostmi, geometrickou přesností, nepropustností, odolností proti korozi a mrazuvzdorností. [1]

3.1 Trvanlivost

Po celou dobu životnosti, která by měla být alespoň 50 let, na potrubí působí agresivní prostředí, jemuž musí odolat. Nesmí dojít k poškození protlačením zeslabené stěny, zborcení kanalizačního řádu, ani k nadměrné difúzi škodlivých látek do okolního prostředí a podzemních vod. [1]

Trvanlivost je důležitá vlastnost betonu, která se zaručuje limitními hodnotami podle vlivu prostředí, které na něj bude působit. Jedná se například o maximální vodní součinitel (počítá se jako poměr vody k cementu a případné pucolánové nebo latentně hydraulické příměsi), minimální pevnostní třídu, minimální dávku cementu, minimální obsah vzduchu, maximální obsah chloridů, maximální nasákavost a další. [8]

Pro kanalizační trouby z prostého betonu, drátkobetonu a železobetonu platí podle ČSN EN 1916 následující požadavky:

- Maximální hodnota vodního součinitele ve zcela zhutněném stavu je 0,45,
- Maximální obsah chloridů je stanoven jako procento Cl^- iontů hmotnosti cementu pro
 - prostý beton je 1,0 %
 - drátkobeton a železobeton 0,4 %,
- Maximální nasákavost je 6 % jeho hmotnosti. [6]

3.2 Mechanické vlastnosti

Na betonových troubách a šachtách se pro ověření mechanických vlastností zkouší únosnost ve vrcholovém tlaku. Rovněž se zkouší pevnost betonu v tlaku na vyvrtaných vzorcích. Na troubách se zkouší únosnost v podélném ohybu. U šachet se zkouší únosnost ve svislém směru zákrytových desek a kombinovaných zákrytových stavebních dílců. [4] [6]

Pevnost betonu v tlaku se zkouší na vyvrtaných vzorcích o tvaru válce. Pevnost betonu v tlaku jak u šachet, tak u trub nesmí být menší než 40 MPa. [4]

Trouba nebo šachta musí dosáhnout minimální únosnosti ve vrcholovém tlaku, která odpovídá její jmenovité světlosti a třídě únosnosti. Umístí se do zkušebního zařízení a rovnoběžně k podélné ose se podepře a zatíží prostřednictvím pevných nosníků. Horní nosník působí na troubu zatížením. Šachty mohou být zkoušeny obdobně i ve svislém uspořádání. [4] [6]

Únosnost v podélném ohybu se stanovuje u kruhových trub jmenovité světlosti DN 250 a méně. Těleso se zatěžuje čtyřbodovým ohybem. Zkouška se také může provést tříbodovým ohybem, pokud jsme si jisti, že k porušení dojde přibližně uprostřed rozpětí. Postup zkoušky se liší podle toho, jestli se jedná o výrobek z prostého betonu, železobetonu nebo drátkobetonu. [6]

3.3 Vodotěsnost

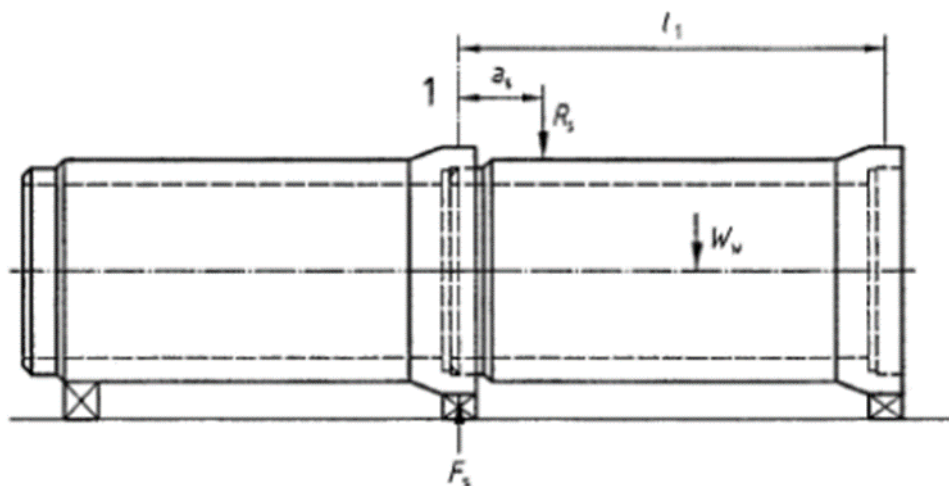
Jedním ze základních požadavků na kanalizační dílce je vodotěsnost. Ta je závislá na pórovité struktuře látky a na těsnění trub. Vodotěsnost u kanalizačních systémů také zabraňuje pronikání škodlivých látek ze splaškové vody do okolního prostředí. Únik splaškové vody do okolí může být způsoben protečením trhlinou, proražením nebo difúzí kapilárními póry. [1]

Vodotěsnost ověřujeme hydrostatickou zkouškou. Ověřuje se pouze u trub se stěnou menší než 125 mm. Před zkouškou je možné dílce namočit do vody až na 28 hodin, přičemž vnější povrch musí být při zkoušce suchý, aby byly vidět případné netěsnosti. [6]

Dvě trouby se spojí a upnou se pevně do zkušebního zařízení. Jejich konce se utěsní odpovídajícím zařízením, naplní vodou a odvzdušní. Poté se zavede předepsaný zkušební tlak 50 kPa (cca 5 m vodního sloupce) a udržuje se po dobu 15 minut. Předtím, než se vnitřní tlak sníží na nulu, se posoudí, zda výrobek vyhověl podmínkám. [6]

Vodotěsnost se také zkouší při úhlové odchylce, kdy se dílce musí úhlově odchýlit o menší z hodnot $12\,500/DN$ v milimetrech na metr nebo o 50 milimetrů každý metr. U vejčitých trub se odchylka provádí ve svislé rovině. Zkoušku lze také provádět při zatížení smykem, kdy na zkoušený výrobek působí smyková síla o určité velikosti po dobu 15 minut. [6]

Posuzuje se, zda trubní spoje s úhlovou odchylkou a/nebo smykovým zatížením a stavební dílce pod předepsaným zkušebním tlakem zůstanou vodotěsné. Výrobek nesmí vykazovat netěsnost ani jiné vady, přičemž vlhkost na povrchu není považována za netěsnost. [6]



Obrázek 2 - Schéma uložení trub při zkoušce vodotěsnosti při zatížení smykem [6]

Šachtové dílce se zkouší obdobně. Mohou být při zkoušce uloženy i svisle. Po utěsnění a naplnění vodou se zavádí tlak 40 kPa (cca 4 m vodního sloupce) pro šachtové dno revizní šachty, 30 kPa (cca 3 m vodního sloupce) pro šachtu a zákrytové stavební dílce revizní šachty, nebo 50 kPa pro šachtová dna, šachtové skruže a zákrytové stavební dílce. Tlak se nechá působit po dobu 15 minut. [4]

Vodotěsnost u šachtových dílců se zkouší také i při úhlové odchylce nebo při zatížení smykem za obdobných podmínek jako u kanalizačních trub. [4]

4 Obklady v kanalizačních systémech

Trouby o průměru DN 600 mm a větších a šachtová dna je možné opatřovat výstelkou, obkladem nebo povlakem. Používají se materiály jako kamenina, tavený čedič, sklolaminát nebo plasty. Tato úprava se provádí pro zlepšení odolnosti a tím prodloužení životnosti. Zlepšuje zejména odolnost vůči abrazi a chemickým látkám. Proto je také nutné použít při obkládání vhodné pojivo. Důležité je i správné provedení (u obkladů např. spáry). [9]

4.1 Tavený čedič

Čedič je minerál s velmi vysokou odolností. Ve 20. století se začal zpracovávat tzv. petrurgií. Petrurgie je zpracování nekovových rud tavením a odléváním. Čedič se taví v šachtových pecích při teplotě přibližně 1 280 °C. Poté se odlévá do kovových nebo pískových forem. Vychladnutí trvá 16 až 21 hodin. Po rekrystalizaci získává výrobek své užité vlastnosti. [10]

Výrobky z taveného čediče se používají v kanalizačních systémech na zlepšení odolnosti. Mají výbornou odolnost zejména vůči abrazi. Díky tomu je vhodné jejich použití v kanalizacích, kde proudí s vodou velké množství pevných částic, a kde dochází k velkým rychlostem proudění. [9]

Tavený čedič, při své objemové hmotnosti, která se pohybuje kolem 3 000 kg·m⁻³, dosahuje velmi vysokých pevností v tlaku od 300 do 450 MPa. Výrobce garantuje maximální úbytek, při zkoušce obrusnosti dle německé normy DIN 52108, 5 cm³/50 cm². Tavený čedič vydrží minimálně 50 cyklů při teplotách -15 °C a +15 °C při zkoušce odolnosti proti mrazu dle ČSN EN ISO 10545-12. [11]

Pro vyzdívku kanalizací se z taveného čediče vyrábí buď radiální tvarovky, nebo žlaby. Žlaby jsou vhodnější pro minimalizování počtu spár. Čedičové tvarovky nebo žlaby se ukládají na speciální lepící a spárovací maltu. Tato malta se skládá z kameniva, anorganických plniv, portlandského cementu a speciálních přísad. Jejím složením jsou dány důležité vlastnosti jako mrazuvzdornost, vodonepropustnost, odolnost proti abrazi a chemickým vlivům a v neposlední řadě i dobrá zpracovatelnost zednickým způsobem. [10] [12]



Obrázek 3 - Čedičový obklad dna betonové prefabrikované trouby [10]

4.2 Kamenina

Kameninou nazýváme výrobky z kameninových jíílů a neplastické složky (křemen, šamot nebo vypálený jííl). Obvykle se vyznačuje hutným hrubým střepem. Kamenina je vhodná pro kanalizační prvky zejména díky své vysoké pevnosti a chemické odolnosti. [13]

Výrobky z kameniny se vyrábí z plastického těsta. To je připraveno z 65 až 70 % vhodných jíílů a 35 až 30 % ostřiva. Takto předpřipravená směs se mísí s rozdělovací vodou na požadovanou tuhost těsta. Výrobky se vytváří na šnekových lisech tlakem cca 2 MPa. Jako další přichází na řadu sušení. Dalším krokem je glazování, které zajišťuje zejména nepropustnost a zvyšuje hladkost povrchu. Posledním krokem při výrobě je výpal při 1 200 až 1 250 °C v tunelové peci, v oxidační atmosféře. [13]

Kameninu můžeme rozdělit na hrubou a jemnou. Pro kanalizace se používá kamenina hrubá, která má okem viditelný podíl částic 100 μm až 5 mm. Objemová hmotnost se pohybuje mezi 2 100 a 2 500 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Dosahuje pevností v tlaku 100 až 700 MPa a pevnosti v tahu za ohybu 10 až 70 MPa. [13]

Kanalizační kamenina se vyznačuje vysokou chemickou odolností. Vyrží pH od 0,4 až po 13,4 i za vysokých teplot. Zkouší se ponořením na 48 hodin do 0,5 mol·l⁻¹ roztoku kyseliny sírové (H₂SO₄) a 1,0 mol·l⁻¹ roztoku hydroxidu sodného (NaOH). Poté se stanovuje úbytek hmotnosti, který obvykle bývá 0,10 až 0,25 %. [13]

Nasákavost kameniny se pohybuje do 3 %. Dosahuje tvrdosti 7 dle Mohsovy stupnice. Vyznačuje se rovněž vodonepropustností a otěruvzdorností. [13]

4.3 Sklolaminát

Sklolaminát je kompozitní materiál. Jedná se o plast vyplněný skleněným vláknem (GRP – Glass Reinforced Plastic). Funkci pojiva plní polyesterové nebo jiné pryskyřice a plnivem je skleněné vlákno. Může obsahovat také křemičitý písek. [9] [14]

Díky hladkému povrchu má GRP dobré hydraulické vlastnosti. GRP má vysoký difúzní odpor a je tedy odolný vůči kyselinám, zásadám i solím. Odolnost závisí na kvalitě použité pryskyřice. GRP má i vysokou odolnost vůči abrazi, mrazu a zvýšeným teplotám. Tyto vlastnosti zaručují životnost v kanalizaci až 100 let. [14]

4.4 Plasty

Jako plasty používané v kanalizacích můžeme uvést vysokohustotní polyetylén (PE HD), neměkčený polyvinylchlorid (PVC) nebo polypropylén (PP). Tyto materiály spojuje chemická odolnost vůči kyselinám a zásadám. Plasty dokážou odolávat v prostředí s pH mezi 2 až 13. Problém může nastat u některých rozpouštědel a ropných látek. Úbytek tloušťky těchto materiálů při abrazi je nepatrný. [9] [15]

5 Alkalicky aktivované materiály

Jednou z možností do budoucna jak zvýšit trvanlivost betonových kanalizačních systémů je použití stěrky z alkalicky aktivovaného materiálu (AAM).

Jako AAM jsou označovány anorganické polymerní materiály, které jsou připravovány polykondenzační reakcí základních hlinito-křemičitanových materiálů v zásaditém prostředí za normální teploty a tlaku. Tuto reakci nazýváme geopolymerizace. [16]

AAM vzniká alkalickou aktivací základního materiálu, kterým může být anorganický materiál s pucolánovými vlastnostmi, který se skládá ze silikátů nebo aluminosilikátů. [17] [18]

5.1 Historie

První použití alkalicky aktivovaného materiálu jako součásti cementového materiálu sahá až do roku 1930, kdy prof. H. Kühn v Německu zkoumal chování směsi rozemleté práškové strusky a roztoku hydroxidu draselného (KOH). V roce 1937 zkoumal prof. L. Chassevent reaktivitu strusky aktivovanou roztokem KOH a sody. Na oba výzkumy navázal prof. A. O. Purdon v Belgii v roce 1940, který provedl první rozsáhlou laboratorní studii o bezslínkových cementech skládajících se ze strusky a hydroxidu sodného. [19]

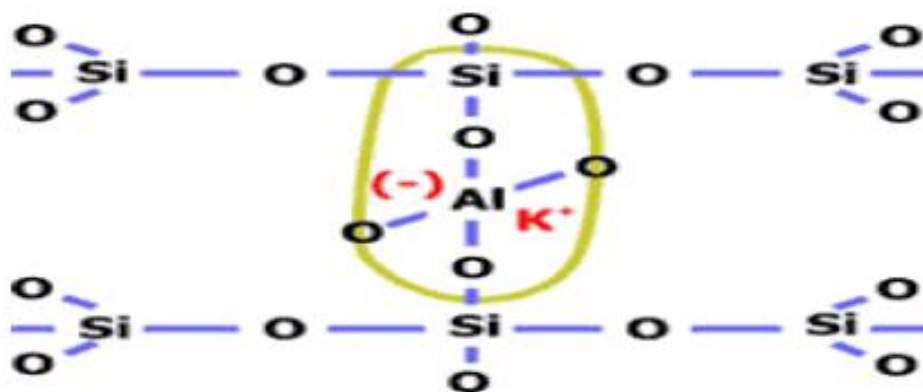
V 60. letech 20. století se alkalicky aktivovaný materiálům věnují vědci na území bývalého SSSR. Konkrétně se jedná o prof. V. D. Gluchovského, který vyvíjel materiál na bázi mleté granulované vysokopecní strusky, aktivované roztokem hydroxidu sodného (NaOH) nebo uhličitanu sodného (Na_2CO_3), nebo také sodným vodním sklem, méně často obdobnými sloučeninami draselnými. Prof. Gluchovskij tyto poznatky sepsal ve své knize „*Gruntosilikáty*“ a nazýval tato pojiva „*gruntocementy*“. [19] [20]

Název „*geopolymery*“ zavedl prof. Joseph Davidovits v 70. letech ve Francii, ve výzkumném ústavu Cordi-Geopolymere. Davidovits tak nazval amorfní kompozit, připravený alkalickou aktivací metakaolinu za zvýšené teploty, bez přítomnosti vápenaté složky. [16] [21]

5.2 Chemická podstata a alkalická aktivace

Surovinami pro přípravu AAM mohou být odpady nebo druhotné suroviny jako popílek či struska, ale také přírodní materiály jako jíly a kaolíny. AAM jsou materiály na rozhraní mezi klasickými hydratovanými anorganickými pojivy, skelnými a keramickými materiály. [16]

AAM jsou tedy sloučeniny hliníku a křemíku. Prostorová struktura geopolymerního gelu se skládá z SiO_4 a AlO_4 tetraedrů, které jsou spojeny atomy kyslíku. Záporně nabitě a tetraedricky uspořádané atomy hliníku uvnitř geopolymerní třírozměrné a prostorové sítě jsou elektricky vyváženy kationty alkalických kovů – sodíku a draslíku. [16] [17]

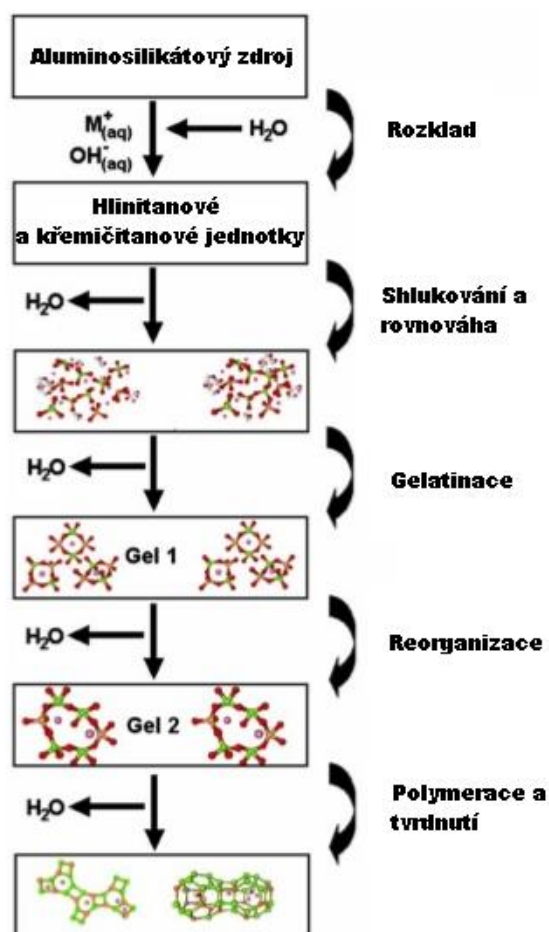


Obrázek 4 - Chemická struktura AAM [15]

Prof. Glukhovskij rozdělil proces geopolymizace do třech fází:

- destrukce-koagulace;
- koagulace-kondenzace;
- kondenzace-krystalizace.

Později byl Glukhovského model různými autory rozšířen. Obrázek 5 představuje zjednodušený mechanismus geopolymizace. [22]



Obrázek 5 - Zjednodušený mechanismus geopolymerizace [21]

První fází vzniku geopolymerního novotvaru je rozpuštění základního aluminosilikátu v silně alkalickém prostředí o pH 13 až 14. K tomu se použije nejčastěji roztok hydrolyzovatelných solí křemičitanu sodného (vodní sklo), popřípadě též NaOH, Na₂CO₃, anebo obdobných draselných sloučenin. [16]

Rozpuštěním se vytvoří přesycený roztok hlinitanových a křemičitanových jednotek. Poté se jednotky shlukují a tvoří gel. Pomocí oligomerů (dimerů a trimerů) dochází ke geotechnickým syntézám - polykondenzaci. Při tomto procesu se uvolňuje voda, která byla spotřebována při rozpuštění. Tato voda plní roli reakčního média uvnitř pórů v gelu. Takový gel nazýváme dvoufázový. Obsahuje totiž dvě fáze: aluminosilikátové pojivo a vodu. [16] [22]

Čas, který je potřeba na změnu přesyceného aluminosilikátového roztoku na kontinuální gel se značně mění v závislosti na podmínkách zpracování surovin,

složení roztoků a podmínkách sloučení. Po gelatinaci systém pokračuje uspořádáním a reorganizací. Gelová síť se více propojuje a tím vzniká trojrozměrná aluminosilikátová síť. Poté následuje polymerizace a tvrdnutí systému [22]

Procesy, při kterých jádra dosáhnou kritické velikosti a začnou se vyvíjet krystaly, jsou důležité pro tvorbu mikrostruktury a distribuci pórů. Právě tyto vlastnosti jsou důležité pro fyzikální a mechanické vlastnosti produktu. [22]

Postup přípravy AAM je následující. K základní surovině v co nejjemnější formě (vhodný měrný povrch je minimálně $500 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$) se přidá aktivátor. Obsah oxidu křemičitého (SiO_2) lze upravit přidavkem mikrosiliky, obsah oxidu hlinitého (Al_2O_3) zase přidavkem ultrajemně mletého korundu. [16]

5.3 Suroviny

Pro přípravu AAM lze použít odpady a druhotné suroviny. Jedná se zejména o elektrárenské a teplárenské popílky, o strusky nebo třeba o mikrosiliku, ale i přírodní upravené materiály jako metakaolin. Reaktivita těchto aluminosilikátových zdrojů závisí na jejich chemickém a mineralogickém složení, morfologii, jemnosti částic a obsahu sklovité fáze. Tyto základní materiály se aktivují vhodným aktivátorem, nejčastěji vodním sklem. [16]

5.3.1 Metakaolin

Metakaolin je materiál připravený pálením kaolinitický jílu při teplotě okolo 750°C . Jílový minerál kaolinit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ztrácí při tepelném zpracování molekuly vody a tím vzniká minerál metakaolinit. [16]

Metakaolin je vysoce aktivní pucolán. Jeho hlavními složkami jsou SiO_2 a Al_2O_3 . Pucolány mají schopnost získávat pojivové vlastnosti reakcí hydroxidem vápenatým ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) za přítomnosti vlhkosti, za vzniku kalciumsilikátů a aluminátů. Metakaolin umožňuje nahrazení 5 až 15 % cementu při výrobě stavebních hmot. Zároveň snižuje pronikání škodlivých iontů do betonu (omezení tvorby výkvětů). [16]

Metakaolin se upravuje mletím na prášek a následným tříděním. Hrubší frakce se používají do omítek, štuků, malt a betonových směsí. Jemné vytríděné frakce se využívají do izolačních systémů, protipožárních systémů, jako plnivo do kompozitů a plastů, přísada do tmelů, ve vybraných aplikacích může nahradit i křemičitý úlet,

přidává se do malířských nátěrů, pro barviva a pigmenty a v neposlední řadě se používá pro výrobu AAM. [16] [23]

5.3.2 Vysokopecní struska

Strusky jsou nekovové doprovodné prvky hutní výroby. Vznikají reakcí doprovodných složek kovonosné sloučeniny v rudě a struskotvorných přísad při teplotách nad 1 100 °C. Používá se jako příměs do betonu, nebo jako pojivová složka směsných cementů. Dříve byla využívána i jako lehké kamenivo. [24] [25]

Nejčastěji používaná je vysokopecní granulovaná struska, která vzniká při výrobě surového železa. Obsahuje velké množství vápenatých a hořečnatých křemičitanů a hlinitokřemičitanů. Struska se při vypouštění z vysoké pece prudce zchladí, čímž se granuluje. Tím se zabrání tvorbě krystalické fáze a vytvoří se amorfni. Následkem toho je struska latentně hydraulická. To znamená, že v přítomnosti aktivátoru (např. cementu) reaguje s Ca(OH)_2 za vzniku hydratovaných křemičitanů a hlinitanů vápenatých a hořečnatých. [24]

Vlastnost, která charakterizuje strusky je modul zásaditosti M_z .

$$M_z = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$$

Problémem strusky je její rozpad. Rozpad je přeměna belitu (C_2S) z $\beta\text{-C}_2\text{S}$ na $\gamma\text{-C}_2\text{S}$, kterou doprovází zvětšení objemu asi o 10 %. [24]

5.3.3 Elektrérenský popílek

Elektrérenský popílek je druhotná surovina a aktivní pucolán. Vzniká při spalování uhlí a tuhých paliv v elektrárnách. Popílký můžeme rozdělit na vysokoteplotní a fluidní. [24]

5.3.3.1 Vysokoteplotní popílek

Popílký z vysokoteplotního spalování jsou minerální zbytky po spalování tuhých paliv, zachycené ve filtrech. Obsahují velké množství amorfního SiO_2 . Mineralogicky obsahují hlavně β -křemen a mullit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) Jsou složeny z kulových plných nebo dutých zrn. Průměrně elektrérenský popílek obsahuje:

- 40 – 50 % SiO_2
- 19 – 30 % Al_2O_3
- 5 – 16 % Fe_2O_3

- 2 – 20 % CaO
- 0,3 – 3 % MgO
- 0,1 – 2 % SO₃ [24] [25]

Popílky se dělí podle amerických standardů ASTM (American Society for Testing and Materials) na popílky typu C a popílky typu F. Ty se od sebe liší obsahem SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ (typ F > 70 %, typ C > 50%) a obsahem CaO (typ F maximálně jednotky %, typ C až 20 %). [24]

Popílky lze využít například jako příměs do cementů, pro výrobu malt, tmelů a lepidel nebo jako příměs do betonu. Používají se k výrobě lehkých stavebních látek – jako silikátová složka autoklávovaného pórobetonu nebo na výrobu sbalkovaného umělého kameniva. Rovněž se může použít jako ostřívo v keramice nebo do podkladních vrstev vozovek. [24]

5.3.3.2 Fluidní popílek

Popílky z fluidního spalování se tvoří při spalování uhlí s mletým vápencem. Při této technologii dochází s pomocí vápence k odsíření. Popílek obsahuje SiO₂, CaO a anhydrit (CaSO₄), který tuhne s vodou. [24]

5.3.4 Křemičitý úlet

Křemičitý úlet, neboli mikrosilika je odpad z výroby křemíku nebo slitiny ferosilicia (FeSi). Obsahuje velké množství amorfního SiO₂ (85 – 99 %). Množství nečistot obsažených v křemičitém úletu roste s čistotou konečného produktu. Mikrosiliku tvoří velmi malá zrna velikosti 0,2 až 2 µm, které ovšem díky elektrickému náboji tvoří shluky o velikosti až 50 µm. Specifický povrch mikrosiliky může být 20 000 až 25 000 kg·m⁻². Křemičité úlety mají vysokou pucolánovou aktivitu. [19] [24]

Mikrosilika je vysoce ceněná druhotná surovina. Pro své významné vlastnosti může být i záměrně vyráběna. Používá se do vysokohodnotných, vysokopevnostních a vodotěsných betonů. Funguje zároveň jako mikroplnivo a jako aktivní pucolánová příměs. AAM s použitím mikrosiliky rovněž vykazují vysoké pevnosti a vysokou vodotěsnost. [19] [24] [25]

5.3.5 Aktivátor

Vliv druhu a koncentrace použitého alkalického aktivátoru má rozhodující vliv na průběh aktivace. Jako aktivátory se mohou použít:

- alkalické hydroxidy MOH;
- sodné a draselné soli slabých kyselin: M_2SO_3 , M_3PO_4 , MF a další;
- křemičitany: $M_2O \cdot nSiO_2$;
- hlinitany: $M_2O \cdot M_2CO_3 \cdot nAl_2O_3$;
- hlinitokřemičitany: $M_2O \cdot Al_2O_3 \cdot (2-6)SiO_2$;
- soli silných kyselin: M_2SO_4 .

M zde nahrazuje Na nebo K. Nejrozšířenější a ekonomicky nevýhodnější jsou aktivátory sodné: NaOH, Na_2CO_3 , $Na_2O \cdot nSiO_2$ a Na_2SO_4 . Vhodnost aktivátoru se mění s použitím AAM. [16] [19] [26]

Vodní sklo je koloidní roztok křemičitanu sodného či draselného. Vzniká rozpuštěním příslušného alkalicko-křemičitého skla ve vodě. Složení vodního skla je charakterizováno silikátovým modulem M_s . Silikátový modul je definován jako

$$M_s = \frac{SiO_2}{Na_2O}$$

pro sodné vodní sklo, nebo jako

$$M_s = \frac{SiO_2}{K_2O}$$

pro draselné vodní sklo. Jeho hodnota se obvykle pohybuje v rozmezí 2,0 až 3,7. Dále je charakterizováno obsahem oxidu sodného (Na_2O) respektive oxidu draselného (K_2O) a vodním součinitelem, který vyjadřuje podíl vody v pojivové směsi. [16] [27]

5.4 Trvanlivost

AAM vynikají především svou vysokou pevností, vysokou odolností proti ohni, kyselinám a bakteriím. [16]

Jednou z možností využití AAM je jejich použití v agresivních prostředích. Tato část bakalářské práce se bude věnovat odolnosti vůči prostředím, které by mohli nastat v kanalizačních systémech.

Ve splaškových a dešťových vodách se mohou vyskytovat zejména chloridy, sírany, sloučeniny fosforu a dusíku a různé kyseliny. Navíc v dešťové vodě jsou obsaženy

pevné částice prachu, písku, posypového materiálu atd. Mimo to najdeme v těchto vodách organické látky, bakterie a další. [9]

5.4.1 Síranová odolnost

V betonech na bázi portlandského cementu (PC) sírany způsobují tvorbu sekundárního ettringitu a sádrovce. Ty svým objemem způsobují rozpraskání a odprýskávání betonu. U AAM na bázi strusky a popílku bylo zjištěno, že síran sodný (Na_2SO_4) nepůsobí žádné významné objemové změny. Naopak síran hořečnatý (Mg_2SO_4) působí agresivněji na alkalicky aktivované materiály, dekalcičuje hydratační produkty za vzniku sádrovce a sekundárního ettringitu, způsobuje rozpraskání a snižuje pevnosti. [28]

Můžeme tedy říct, že kationt hraje u odolnosti AAM vůči síranům větší roli, než síranový aniont SO_4^{4-} . Koroze narůstá s přítomností kationtu podle následující řady: Na^+ , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Al^{3+} , NH_4^+ , Mg^{2+} , Mn^{2+} . Velký vliv má také použitý aktivátor. Jako nejvhodnější se v tomto směru jeví sodná vodní skla. [19] [28]

Jelikož se Na_2SO_4 může použít jako aktivátor, není překvapivé, že AAM jsou v jeho prostředí stabilní. Při experimentu byl porovnáván AAM na bázi strusky a vzorek na bázi PC. PC materiál po 2 letech v 1% roztoku Mg_2SO_4 ztrácel významně na pevnosti, na rozdíl od AAM. Ovšem po necelém roce v 10% roztoku Mg_2SO_4 byly oba vzorky zničeny. [19]

5.4.2 Chloridová odolnost

Chloridy jsou obsaženy z části ve splaškové vodě, ale větší množství je jich ve vodě dešťové. Tam značně kolísá, protože jejich zdrojem jsou posypové soli, používané zejména v zimním období. [9]

Působení chloridů na betony na bázi PC je důležité zejména z hlediska jejich difúze dovnitř betonu a jejich následné působení na betonářskou výztuž. Chloridy nepůsobí nijak destruktivně jak na strukturu betonů na bázi PC tak na AAM. Jedná se spíše o jejich nepropustnost. AAM díky své mikrostruktuře mají horší podmínky difúze Cl^- iontů než beton na bázi PC. [28]

5.4.3 Odolnost vůči kyselinám

Klasický beton na bázi PC přijde do styku s kyselinami nejvíce v kanalizacích. Zde se objevuje zejména H_2S , která oxiduje na biogenní H_2SO_4 . Působí společně

s dalšími organickými kyselinami, bakteriemi a mikroorganismy. Na povrchu betonu dochází k acidobazické reakci, která produkuje více či méně rozpustné soli. V praxi je těžké napodobit výše popsané pochody, proto se na ověření odolnosti vůči kyselinám používají například kyselina chlorovodíková (HCl) nebo octová (CH_3COOH). [29] [30]

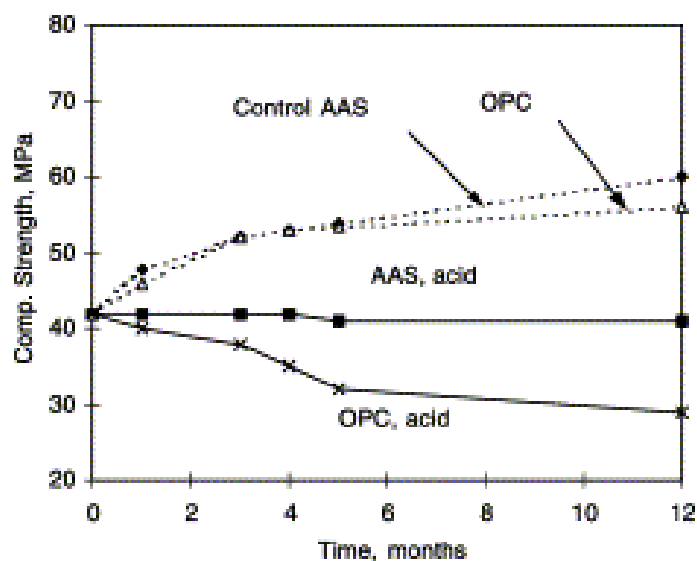
U PC betonu dochází působením kyselin k dekalifikaci cementového kamene. Kyselina octová působí na vápenaté složky a vzniká octan vápenatý, který je rozpustný a opouští cementový kámen. Tím odhaluje další vrstvy betonu a koroze pokračuje. Podobné pochody se dějí i u AAM, ty ovšem nejsou tolik bohaté na vápenaté složky jako PC tmel. Nízký obsah vápenných složek má za následek tvorbu hustého křemičitého gelu, který tvoří ochrannou vrstvu před další korozí. Proto je odolnost AAM vůči kyselinám lepší. [19] [31]

Běžný PC beton a AAM na bázi vysokopepní strusky byl testován na odolnost proti kyselině octové o $\text{pH} = 4$. Použitá struska měla jemnost mletí $460 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ a velikost částic od 1 do $10 \text{ }\mu\text{m}$. Jemnost mletí cementu byla $342 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$. [31]

AAM byl připraven alkalickou aktivací strusky roztokem sodného vodního skla a NaOH. Tato aktivátorová směs měla silikátový modul $M_s = 0,7$. Na vzorcích byly postupně zkoumány změny pevností a změny struktury. Každý měsíc z prvních čtyř byl roztok kyseliny nahrazen čistým. Poté byl vyměněn ještě v šestém, devátém a dvanáctém měsíci testu. [31]

Pevnost v tlaku se stanovila před testem a poté v prvním, třetím čtvrtém, pátém a dvanáctém měsíci uložení v kyselině. Pevnost v tlaku byla zkoušena na válcích o průměru 100 mm a výšce 200 mm. Po dvanácti měsících uložení v kyselině klesly pevnosti v tlaku PC betonu o 47 %, zatímco u AAM na bázi strusky o 33 %. [31]

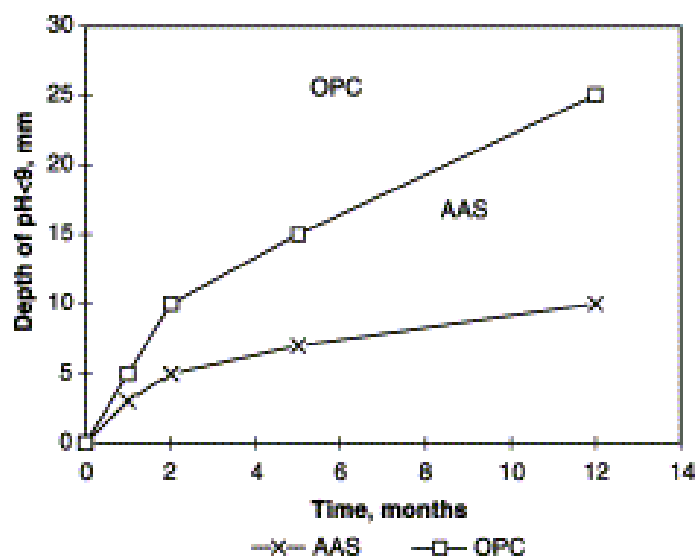
Graf 1 – Porovnání pevností PC betonu a AAM na bázi strusky po uložení v kyselině octové a po uložení ve vodě [31]



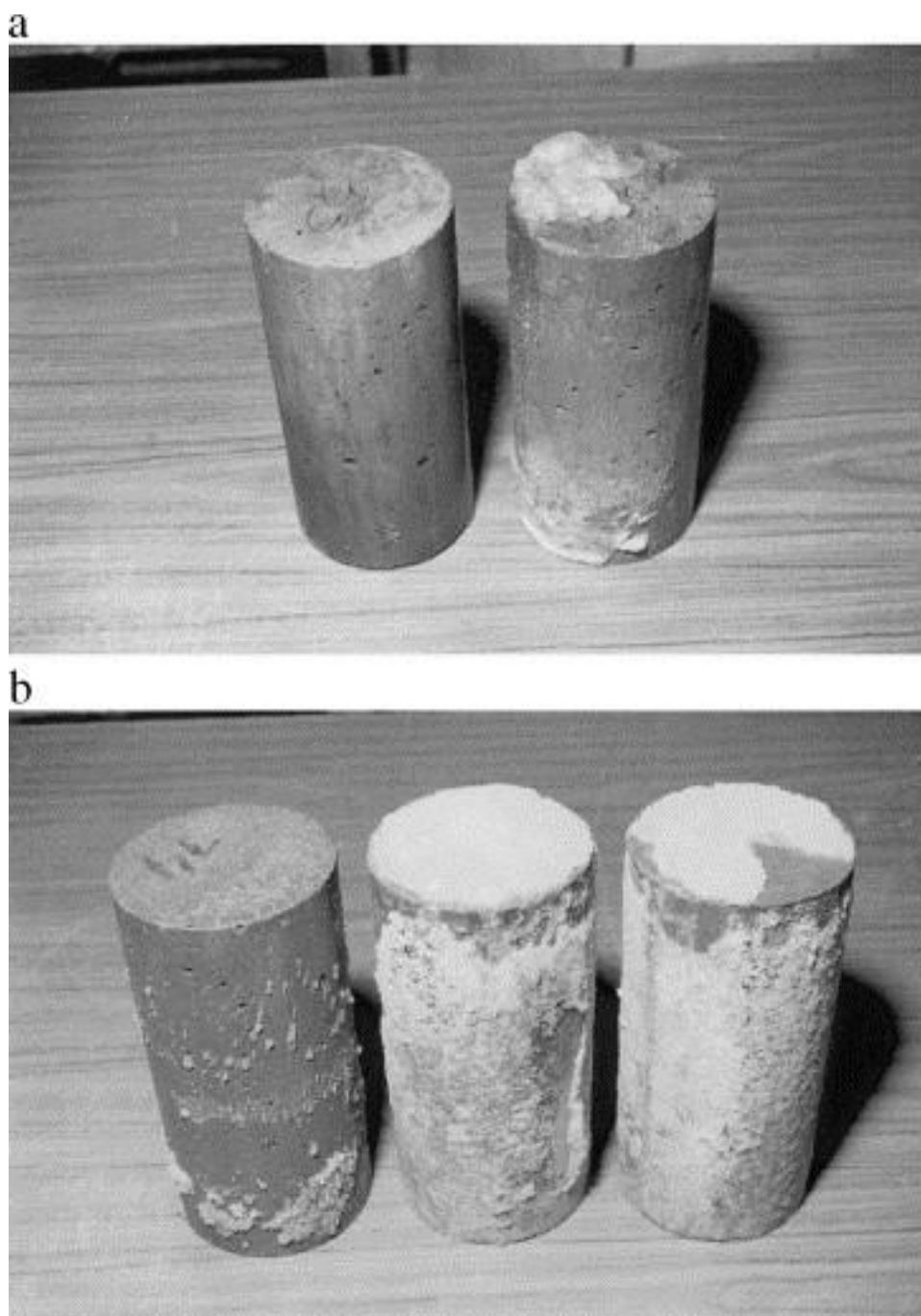
(Comp. Strenght – pevnost v tlaku, Time, months – čas v měsících, AAS – AAM na bázi strusky, OPC – PC beton, acid – kyselina)

Hloubka neutralizace byla měřena na řezu roztokem fenolftaleinu. Ten barví do fialova místa s větším pH než 9. Tudíž místa, která se nezbarví, už byla z větší části neutralizována v důsledku reakce s kyselinou. Hloubka poklesu pH pod hodnotu 9 byla po dvanácti měsících u AAM 16 mm, zatímco běžného PC betonu 22 mm. [31]

Graf 2 – Porovnání hloubky poklesu pH u PC betonu a AAM na bázi strusky [31]

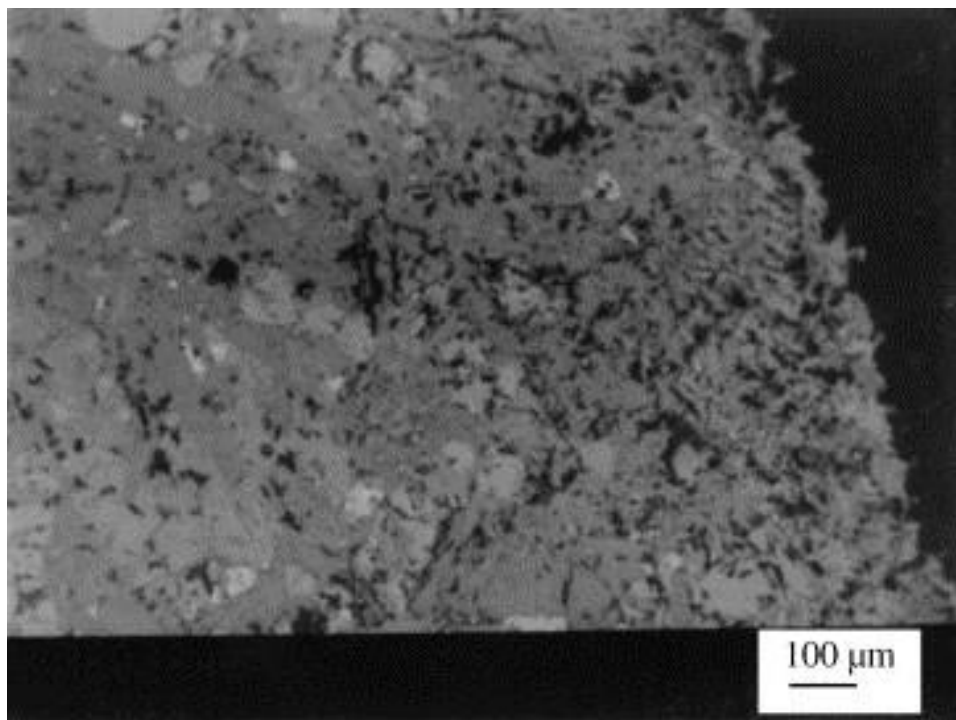


(Depth od pH – hloubka pH, Time, months – čas v měsících, AAS – AAM na bázi strusky, OPC – PC beton)



Obrázek 6 - Vzhled vzorků po 2 měsících v roztoku kyseliny octové ($pH = 4$): (a) AAM na bázi strusky, (b) PC beton [31]

Změny mikrostruktury byly analyzovány pomocí rentgenové difrakční analýzy (XRD – X-ray Diffraction) a skenovací elektronové mikroskopie (SEM). Vzorky ke zkoumání pomocí SEM byly odebrány po šesti měsících uložení v kyselině octové. Byly nařezány z válců kolmo k ploše, která byla vystavena korozi. Ve vzorcích bylo rozpuštěno jak plnivo, tak matrice do hloubky 5 mm. [31]

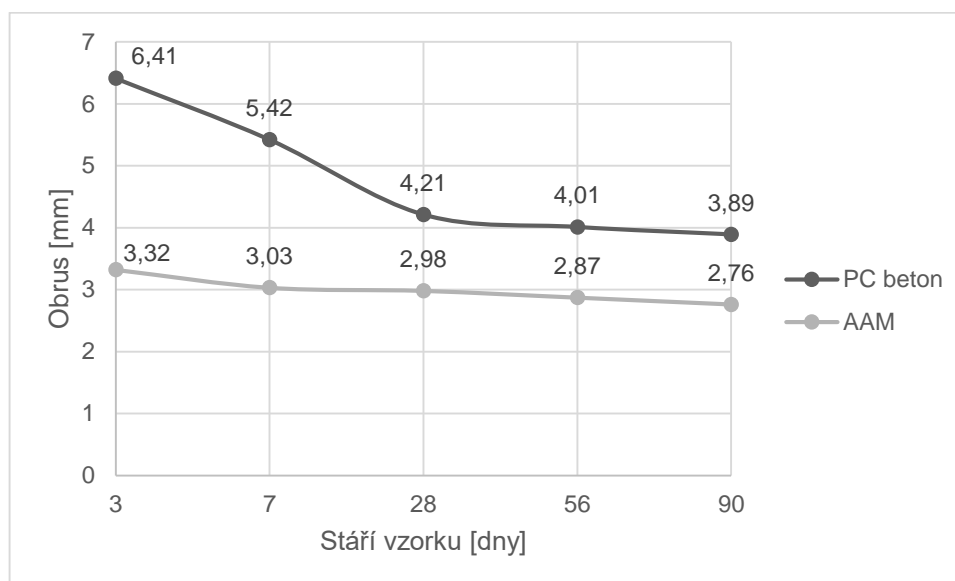


Obrázek 7 - Mikrostruktura AAM na bázi strusky po 6 měsících v kyselině octové [31]

5.4.4 Odolnost vůči abrazi

Pro použití AAM v kanalizaci a obecně ve vodních dílech je důležitá odolnost vůči abrazi. Odolnost proti otěru je výrazně ovlivněna vlastnostmi materiálu, jako je pevnost, vlastnosti a kvalita kameniva, vlastnosti základního materiálu a v neposlední řadě ošetřování při tuhnutí a tvrdnutí. K otěru dochází vlivem pevných látek ve vodě. Těmi je písek, prach, kamínky nebo třeba led. [32]

V porovnání s materiály na bázi PC vykazují AAM lepší odolnost vůči abrazi. Ta může být ještě zvýšena použitím vhodných plniv. AAM na bázi metakaolinu aktivovaný roztokem NaOH a vodního skla byl zkoušen na odolnost vůči abrazi. Materiál byl broušen na speciálním brousícím zařízení, rychlostí 1 000 otáček za minutu, po dobu 5 minut. Výška obrusu byla po 3, 7, 28, 56 a 90 dnech u AAM v porovnání s PC materiálem nižší o 48 %, 44 %, 29 %, 28 % a 29 %. [33]

Graf 3 – Porovnání výšky obruš u PC materiálu a AAM [33]

5.4.5 Porozita

Póry v betonu úzce souvisí s jeho trvanlivostí. Mají vliv na transport vody a látek v ní obsažených dovnitř struktury, na mrazuvzdornost, smrštění a pevnost. Póry můžeme rozdělit na otevřené i průchodné, otevřené neprůchodné (pro úplné vyplnění kapalinou vyžadují značný tlak kapaliny) a uzavřené. Podle vzniku a velikosti rozdělujeme póry na:

- **technologické**, vznikají při nedostatečném zhutňování;
- **provzdušňovací**, vznikají provzdušňovací přísadou pro zlepšení mrazuvzdornosti, průměr $d \approx 50 - 300 \mu\text{m}$;
- **gelové**, které jsou vázány na strukturu CSH gelů, průměr $d \approx 2 \text{ nm}$;
- **hydratační**, vznikají uvolněním prostoru po vodě spotřebované na hydrataci, průměr $d \approx 8 - 20 \mu\text{m}$;
- **kapilární**, vzniká nadměrným množstvím vody. [3]

Nejčastěji užívaná metoda pro charakteristiku porozity je vysokotlaková rtuťová porozimetrie (MIP – Mercury Intrusion Porosimetry), kdy pod tlakem až 10^3 MPa vyplňujeme póry od $0,1 \text{ mm}$ až do průměru $2 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ (poloměr kapiláry je nepřímo úměrný tlaku rtuti). [3]

Při porovnávání AAM na bázi popílků a strusek s běžným PC betonem bylo gravimetricky zjištěno, že AAM obsahují celkově menší objem pórů v matrici. Dále byly póry zkoumány vnikáním Woodova kovu. Při této metodě se po tlakovém

vniknutí kovu vzorek zkoumá na elektronovém mikroskopu. Póry zaplněné kovem jsou lépe viditelné než póry prázdné. [34]

Tímto zkoumáním byly zjištěny rozdíly mezi pórovou strukturou AAM na bázi popílku a materiálů na bázi PC. V AAM naprosto chybí kapilární póry, tak jak je známe z PC betonů. Místo toho obsahuje jemné, rovnoměrně rozložené póry podobné gelovým. To je vysvětleno tím, že AAM tvrdnou v celém svém objemu, zatímco PC betonu hydratují z povrchu materiálu dovnitř. Namísto kapilárních pórů ještě obsahují póry, které vznikly rozpouštěním povrchu dutých částic popílku. Tyto póry měly velikost do 10 μm a byly oddělené pevnou fází. [34]

5.4.6 Mrazuvzdornost

Při mrazu vzniká v pórech PC pasty led, který zvětšuje objem oproti vodě o 9 %. To způsobuje tlak a případné praskání betonu. V kapilárních pórech zamrzá voda díky kapilárnímu efektu při nižších teplotách než 0 °C. [19]

Teplota, při které voda v kapilárních pórech zamrzá, je u AAM značně závislá na použitém aktivátoru. Vhodnějším než Na_2CO_3 se při alkalické aktivaci strusky ukázal K_2CO_3 . Nejméně pórovitou strukturu a tím i nejlepší mrazuvzdornost vykazovala struska aktivovaná sodným vodním sklem. Nižší teplota zamrzání vody v pórech AAM než u PC past je dána menšími póry, jak bylo zmíněno v kapitole věnované porositě. [19]

AAM vykazují rozdílné chování při mrazu a rozmrazování než běžné PC betony. Bylo zjištěno, že na rozdíl od PC betonů jsou AAM odolnější, pokud jsou neprovzdušněné. [19]

V další studii byla zkoumána odolnost AAM na bázi strusky proti mrazu a chemickým rozmrazovacím látkám. Po 45, 60 a 100 cyklech v 5% roztocích chloridu sodného (NaCl), síranu hořečnatého (MgSO_4) a chloridu vápenatého (CaCl_2) nebylo zjištěno žádné viditelné zhoršení. Lze říci, že s rostoucí koncentrací rozmrazovacích solí se odolnost zhoršuje. Zřetelnější destruktivní vlivy jsou vidět v počáteční fázi zkoušení, pravděpodobně kvůli rychlejšímu pronikání soli do struktury materiálu. [19]

5.5 Tenkovrstvé aplikace

V tenkých vrstvách se díky svým vlastnostem AAM aplikují na kovy jako ochrana proti korozi a působení vysokých teplot. Uvádí se, že AAM jsou stabilní až do teplot kolem 1 000 °C. V případě tenkovrstvých aplikací je důležitá přilnavost k povrchu. AAM vykazují dobré přilnavé vlastnosti ke kovům, přídržnost je větší než 3,5 MPa. [16] [35]

Podstatnější pro tuto bakalářskou práci je tenkovrstvá aplikace AAM na beton. Byl proveden experiment, při kterém byly vzorky betonu s vysokým obsahem pucolánu opatřené vrstvou AAM vystaveny agresivnímu prostředí. Použitý AAM byl na bázi popílku aktivovaný roztokem sodného vodního skla a NaOH. Po aplikaci AAM byl vzorek uložen při teplotě 60 °C po dobu 24 hodin. [36]

Po 7 dnech byly tyto vzorky vystaveny působení 10% roztoku H_2SO_4 . Pro urychlení procesu degradace byly vzorky střídavě namáčeny po 4 dny v roztoku H_2SO_4 a poté po 4 dny sušeny po dobu celkem 90 dní. Beton pokrytý vrstvou AAM si udržel své pevnosti a měl značně menší hmotnostní úbytek než betony, které ochrannou vrstvou opatřeny nebyly. [36]

Jiný výzkum zkoumal možnost využití AAM jako antikorozní ochrany betonu použitého v mořských přístavech, tedy v prostředí XS. Byl použit AAM na bázi metakaolinu s příměsí 10 % hmotnostních granulované vysokopeční strusky aktivovaný roztokem NaOH a sodného vodního skla. U tohoto materiálu potom byly testovány vlastnosti důležité pro tenkovrstvou aplikaci na beton jako měření propustnosti, korozní odolnost v mořské vodě a atmosféře, přilnavost k betonovému podkladu, a objemová stálost (smrštění). [37]

Vzorky byly zkoušeny vždy po uložení ve třech prostředích: na suchu, v mořské vodě a v prostředí kde se střídalo vlhčení se sušením. Přídržnost byla testována na vzorku vyrobeném ve speciální formě. Ta byla prvně z poloviny naplněna cementovou pastou nebo maltou a poté AAM. Po ztvrdnutí byla zkoušena přídržnost obou materiálů. Při tvrdnutí na suchu, pod mořskou vodou i ve střídavém prostředí bylo dosaženo uspokojivých výsledků a přídržnost se pohybovala kolem 2 MPa. [37]

Po 60 dnech byla na vzorcích zkoušena pevnost v tlaku. Pevnost vzorku uložené v mořské vodě byla 74,6 MPa, tedy o 4,8 MPa nižší než ve střídavém prostředí, respektive o 7,0 MPa nižší než v suchém prostředí. [37]

Nepropustnost AAM je značně lepší než u betonů na bázi PC. Tato vlastnost je dána zejména množstvím a velikostí pórů. AAM vykazuje menší průměr otevřených kapilárních pórů než PC beton, tudíž má horší propustnost jak pro vodu, tak pro látky v ní obsažené. [38]

5.6 Smršťování a vznik trhlin

Smršťování a vznik trhlin jsou významnými problémy při tenkovrstvých aplikacích AAM. Vznik trhlin by byl fatálním důsledkem při aplikaci AAM jako ochranné vrstvy betonu v kanalizacích.

Smršťování je změna objemu při konstantní teplotě bez vnějšího zatížení. Můžeme ho rozdělit na autogenní, smrštění vlivem karbonatace a smrštění sušením. K smršťování vlivem karbonatace dochází, když hydratační produkty cementu reagují za určité vlhkosti se vzdušným oxidem uhličitým (CO_2), autogenní smršťování a smršťování sušením jsou důsledkem zrání a sušení materiálu. [19]

Při zkoumání alkalicky aktivovaných vysokopecních strusek bylo zjištěno, že smršťování dosahuje u alkalicky aktivovaných strusek větších hodnot než u PC materiálů. AAM na bázi metakaolinu vykazují rozsáhlé smrštění sušením a tendence ke vzniku trhlin. [19] [39]

Smršťování sušením je důležitým jevem, protože může způsobovat vznik trhlin. Vzniká v důsledku ztráty vlhkosti. Dá se rozdělit do tří částí. První je ztráta kapilární vody, druhá je adsorbovaná voda a třetí je strukturální voda vázaná do CSH fází. Zejména při ztrátě strukturální vody má materiál největší tendence ke smrštění a vzniku trhlin. [19] [39]

Na smršťování sušením mají vliv vnitřní a vnější faktory. Mezi vnitřní můžeme zařadit povahu základní suroviny a aktivátoru nebo například množství vody ale také vlastnosti kameniva. Vnější faktory jsou teplota, rychlost a doba sušení, nebo relativní vlhkost. [19]

Při smršťování nastává vnitřní pnutí. Pokud je toto pnutí větší, než pevnost matrice vznikají trhliny. Trhliny snižují ohybové pevnosti a umožňují průsak vody a agresivních látek. [19]

Bylo zjištěno, že přidání alespoň 10 % objemových jemného křemičitého písku frakce do 0,1 mm, do AAM na bázi metakaolinu, výrazně sníží smrštění a vznik trhlín. Je to proto, že částice písku vytvoří podpůrnou síť s pevným objemem pórů, která zamezí smršťování. Přidání jemného písku má pozitivní vliv i na pevnosti. [39]

Při experimentu, uvedeném v kapitole věnující se tenkovrstvým aplikacím, na použití AAM jako ochranné vrstvy betonu v mořských přístavech nastal problém se smrštěním a následným popraskáním. Problém se podařilo vyřešit přidáním 0,4 % polypropylenových vláken a 0,5 % MgO jako expanzního činidla. Materiál byl také důkladně zvlhčován a ošetřován zejména první týden zrání. [37]

III. CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout a namíchat AAM, s vysokou trvanlivostí a odolností v agresivních prostředích. Navržený AAM by mohl být použit v betonových kanalizačních systémech jako výstelka pro zlepšení chemické odolnosti a odolnosti vůči abrazi.

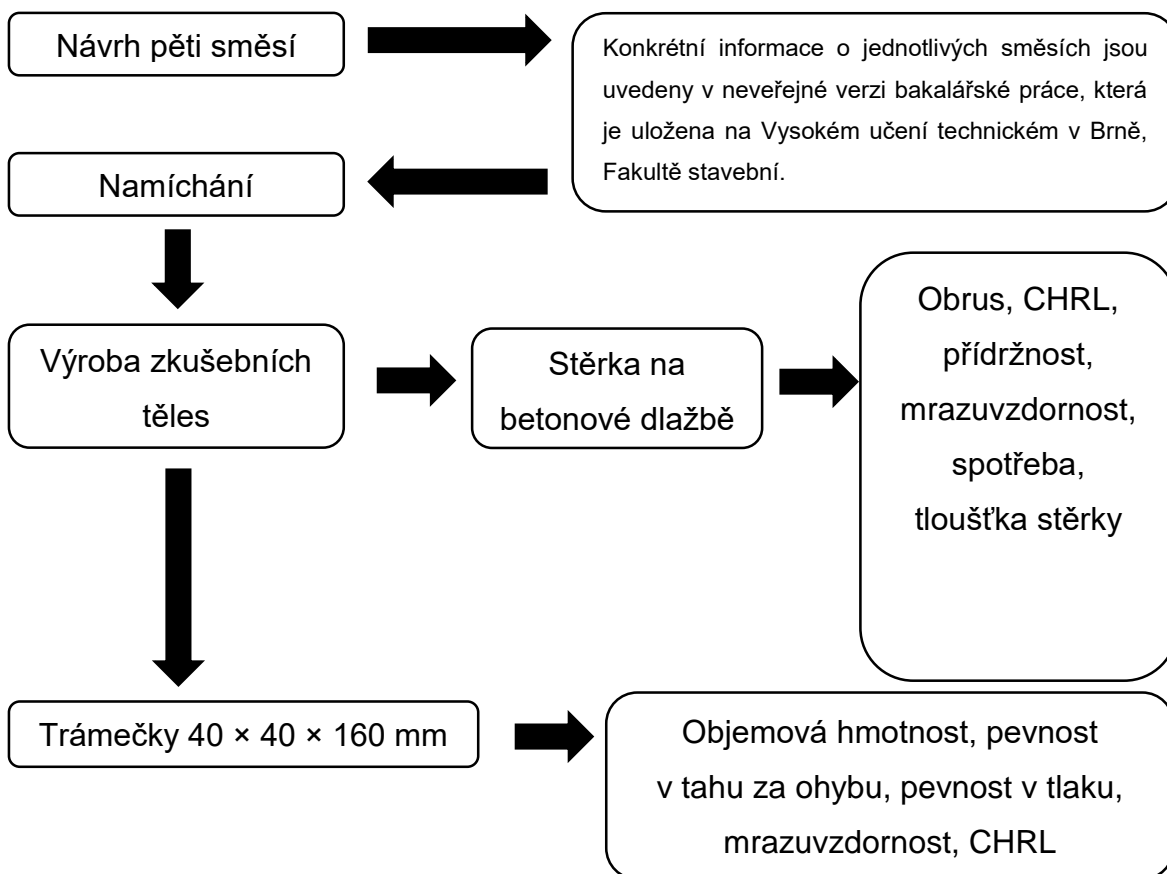
Důležité bylo zaměřením se na sledování odolnosti povrchu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek, přídržnost k betonovému podkladu, odolnost vůči ohrusu a mrazuvzdornost. Pro lepší charakteristiku materiálu byly stanoveny objemové hmotnosti v čerstvém a ztvrdlém stavu, spotřeba materiálu v čerstvém stavu při tenkovrstvé aplikaci, tloušťka stěrky, pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku. Na všech vzorcích bylo sledováno chování během zrání.

IV. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

1 Metodika práce

Bylo namícháno celkem pět směsí.

Konkrétní informace o jednotlivých směsích jsou uvedeny v neveřejné verzi bakalářské práce, která je uložena na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě stavební.



Obrázek 8 – Schéma prováděných zkoušek

2 Charakterizace vstupních surovin

Charakterizace vstupních surovin jsou uvedeny v neveřejné verzi bakalářské práce, která je uložena na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě stavební.

3 Receptury

Receptury jsou uvedeny v neveřejné verzi bakalářské práce, která je uložena na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě stavební.

4 Příprava a ošetřování zkušebních vzorků

4.1 Míchání

Směsi byly míchány pomocí ručního elektrického míchadla v plastové nádobě.

Konkrétní informace o míchání jsou uvedeny v neveřejné verzi bakalářské práce, která je uložena na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě stavební.

4.2 Trámečky 40 × 40 × 160 mm

Z každé namíchané směsi bylo vytvořeno 6 zkušebních těles o rozměrech 40 × 40 × 160 mm. Zde byla vytvořena pouze dvě zkušební tělesa. Zkušební tělesa tvrdla při laboratorní teplotě a po 24 hodinách byla odformována a uložena do vlhkého prostředí na dobu 28 dní.

4.3 Stěrka

Z každé směsi byla na 4 půlky betonové dlažby na betonové jádro nanесena tenká vrstva AAM pomocí zednické lžice a hladítka.

Konkrétní informace o přípravě zkušebních těles jsou uvedeny v neveřejné verzi bakalářské práce, která je uložena na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě stavební.

4.4 Výřezy

Z každého AAM naneseného na betonový podklad byly vyřezány 2 vzorky o rozměrech 100 × 100 mm na stanovení odolnosti proti působení vody a CHRL a jeden vzorek o rozměru 71 × 71 mm na stanovení obrusnosti. To bylo provedeno pro každou směs po 28 dnech.

Konkrétní informace o přípravě zkušebních těles jsou uvedeny v neveřejné verzi bakalářské práce, která je uložena na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě stavební.

5 Popis prováděných zkoušek a měření

5.1 Objemová hmotnost v čerstvém stavu

Podstatou zkoušky objemové hmotnosti v čerstvém stavu je stanovení objemu nádoby, zvážení prázdné nádoby a zvážení nádoby po naplnění materiálem. Objemová hmotnost je stanovena podle vztahu:

$$D_{\xi} = \frac{m_2 - m_1}{V} [kg \cdot m^{-3}]$$

kde:

m_1 je hmotnost prázdné nádoby [kg],

m_2 hmotnost plné nádoby [kg],

V objem nádoby [m^3].

5.2 Spotřeba materiálu v čerstvém stavu

Podstatou zkoušení spotřeby materiálu v čerstvém stavu je zvážení dlažby, změření jejích plošných rozměrů a následné zvážení s naneseným AAM. Spotřeba materiálu v čerstvém stavu je stanovena podle vztahu:

$$m' = \frac{m_2 - m_1}{S} [kg \cdot m^{-2}]$$

kde:

m_1 je hmotnost prázdné dlažby [kg],

m_2 hmotnost dlažby opatřené stěrkou AAM [kg],

S plocha dlažby [m^2].

5.3 Tloušťka stěrky

Tloušťka stěrky v ztuhlém stavu byla změřena na výřezech s přesností na 0,5 mm. Výsledná tloušťka je vyjádřena jako průměr z deseti měření.

$$d = \frac{\sum_{i=1}^{10} d_i}{10} [mm]$$

kde:

d je tloušťka vrstvy AAM [mm].

5.4 Objemová hmotnost v ztvrdlém stavu

Objemová hmotnost v ztvrdlém stavu byla stanovena na trámečcích 40 × 40 × 160 mm po 28 dnech. Podstatou zkoušky je změření objemu a zvážením zkušebního tělesa.

$$D_z = \frac{m}{V} [kg \cdot m^{-3}]$$

kde:

m je hmotnost zkušebního tělesa [kg],

V objem zkušebního tělesa [m³].

5.5 Pevnost v tahu za ohybu

Pevnost v tahu za ohybu byla zjišťována podle normy ČSN EN 196-1 – „Metody zkoušení cementu – Část 1: stanovení pevnosti“. Zkouška byla prováděna třibodovým ohybem na trámečcích 40 × 40 × 160 mm po 28 dnech. Podstatou je zatěžování trámečku jednou horní podporou a dvěma spodními podporami, které jsou od sebe vzdálené 100 mm. Zatěžování se provádí kolmo na směr hutnění až do porušení. Síla při porušení se zaznamená a pevnost v tahu za ohybu se vypočte podle vztahu:

$$R_f = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} [MPa]$$

kde:

F je síla při porušení vzorku [N],

L vzdálenost podpor 100 mm,

b šířka zkušebního vzorku [mm],

h výška zkušebního vzorku [mm].

5.6 Pevnost v tlaku

Pevnost v tlaku byla stanovena podle normy ČSN EN 196-1 – „Metody zkoušení cementu – Část 1: stanovení pevnosti“. Zkouška byla prováděna na zlomcích trámečků po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu, kolmo na směr hutnění, po 28 dnech. Podstatou je zatěžování ve zkušebním zařízení pro stanovení pevnosti v

tlaku o tlačné ploše 1600 mm². Zatěžování se provádí kolmo na směr hutnění až do porušení. Síla při porušení se zaznamená a pevnost v tlaku se vypočte dle vztahu:

$$R_c = \frac{F}{A} [MPa]$$

kde:

F je síla při porušení vzorku [N],

A tlačná plocha zkušebního zařízení 1600 mm².

5.7 Obrusnost

Obrusnost byla stanovena podle normy ČSN EN 1339 – „Betonové dlažební desky – Požadavky a zkušební metody“, dle přílohy H – „Měření obrusnosti metodou podle Böhma“. Podstatou zkoušky je otáčení brusného kotouče s nasýpaným brusivem (umělý korund) pod vzorkem. Böhmov přístroj se skládá z brusného kotouče, držadla vzorku a zatěžovacího zařízení. Zkušební vzorek se umístí do přístroje a zkouší se v 16 cyklech po 22 otáčkách. Po každém cyklu se vzorek a zkušební zařízení očistí a vzorek se otočí o 90°. Zkušební tělesa o rozměrech 71 × 71 mm byla vyříznuta ze vzorku dlažby opatřené vrstvou AAM.

Konkrétní informace o vyhodnocení zkoušky jsou uvedeny v neveřejné verzi bakalářské práce, která je uložena na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě stavební.

5.8 Přídržnost k betonovému podkladu

Přídržnost k betonovému podkladu byla stanovena podle normy ČSN 73 2577 – „Zkouška přídržnosti povrchové úpravy stavebních konstrukcí k podkladu“. Podstatou zkoušky je změření síly potřebné k odtržení povrchové úpravy od podkladu kolmým tahem. Na vrstvu AAM byly nalepeny terče o průměru 50 mm pomocí speciálního dvousložkového lepidla. Po ztvrdnutí lepidla byl kolem terče pomocí diamantového kotouče vyříznut osmiúhelník, který co nejlépe kopíruje kruhový terč a prořízne celou vrstvu AAM až na betonový podklad. Přídržnost k podkladu byla stanovena pomocí odtrhového přístroje, který na displeji po odtržení ukazuje přídržnost σ_{adh} v MPa. Přídržnost k podkladu byla stanovena jako průměr ze tří měření. Dále bylo sledováno místo porušení. Jako S je označeno porušení ve

stěrce, jako B porušení v betonu a jako S/B je označeno porušení na rozhraní obou materiálů.

5.9 Mrazuvzdornost

Mrazuvzdornost byla stanovena podle normy pro beton ČSN 73 1322 – „Stanovení mrazuvzdornosti betonu“. Podstatou zkoušky je stanovení pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu po zmrazovacích cyklech. Zkušební tělesa byla na rozdíl od normových požadavků trámečky 40 × 40 × 160 mm a byla uložena 28 dní ve vlhkém prostředí a poté 24 hodin ve vodě. Po nasáknutí byla zmrazována a rozmrazována ve zkušebním zařízení na stanovení mrazuvzdornosti. Jeden cyklus se skládá ze 4 hodin zmrazování při -20 °C a 2 hodin ve vodní lázni při 20 °C. Po 100 cyklech byla tělesa vyjmuta a byla na nich stanovena pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku. Součinitel mrazuvzdornosti se stanoví jako poměr pevnosti v tahu za ohybu zmrazovaného vzorku k pevnosti v tahu za referenčního.

V rámci mrazuvzdornosti byla stanovena rovněž přídržnost k betonovému podkladu po 100 zmrazovacích cyklech. Přídržnost k podkladu byla stanovena dle výše zmíněného postupu.

Konkrétní informace o vyhodnocení zkoušky jsou uvedeny v neveřejné verzi bakalářské práce, která je uložena na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě stavební.

5.10 Stanovení odolnosti povrchu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek

Odolnost vrstvy AAM proti působení vody a CHRL byla posuzována podle normy pro beton ČSN 73 1326 – „Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek - metodou A“ pomocí automatického cyklování. Principem této zkušební metody je ponoření zkušební tělesa do roztoku 3% NaCl a ochlazení jeho povrchu na -15 °C a zpětné ohřátí na 20 °C. Obě teploty se udržují po dobu 15 minut. Zkušební tělesa o rozměrech 100 × 100 mm, která byla vyříznuta ze vzorku dlažby opatřené vrstvou AAM, se umístí do misky z korozivzdorného materiálu s roztokem NaCl tak, aby byla ponořena 5 mm. Boční strany vzorku o rozměru 100 × 100 mm byly opatřeny

vodonepropustným dvousložkovým lepidlem, aby se voda a CHRL dostali pouze na zkoušenou plochu. Odolnost proti CHRL byla zkoušena podle vztahu:

$$\rho_a = \frac{\sum m}{A} [g \cdot m^{-2}]$$

kde:

ρ_a je hmotnostní odpad na jednotku plochy [$g \cdot m^{-2}$],

$\sum m$ hmotnost celkového množství odloučeného materiálu [g],

A plocha testovaného povrchu [m^2].

Zkouška byla provedena i na trámečcích $40 \times 40 \times 160$ mm.

Konkrétní informace o vyhodnocení zkoušky jsou uvedeny v neveřejné verzi bakalářské práce, která je uložena na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě stavební.

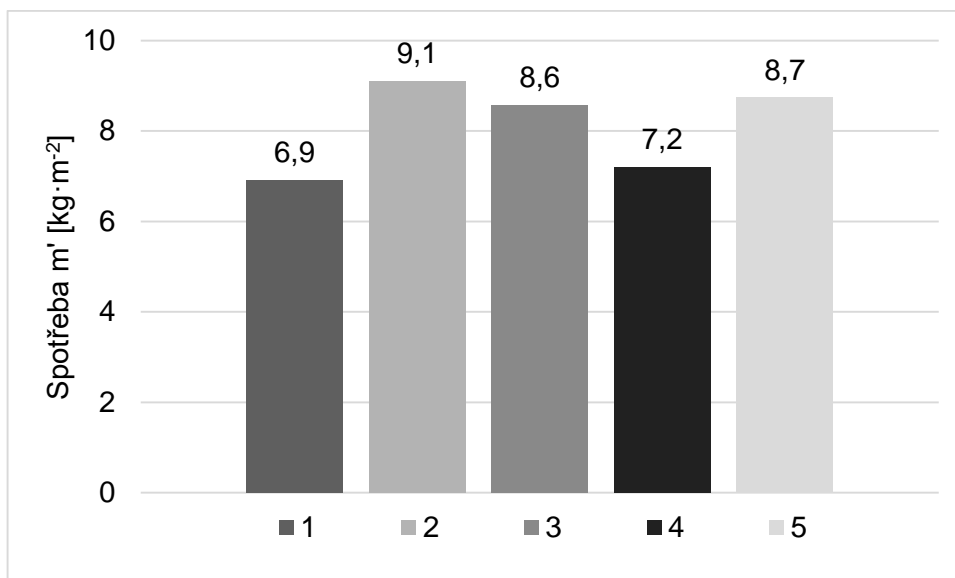
6 Výsledky provedených zkoušek

6.1 Vlastnosti v čerstvém stavu

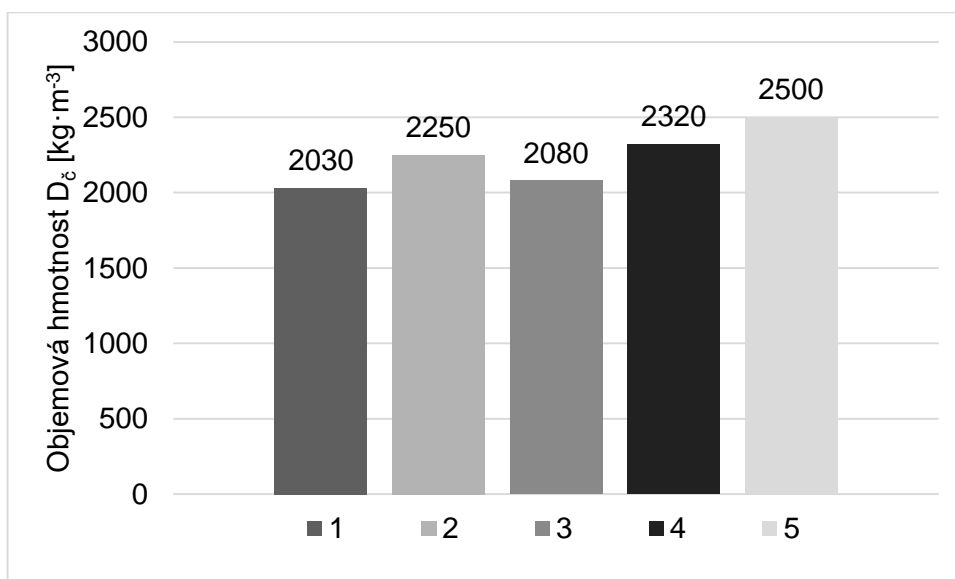
Tabulka 1 - Vlastnosti v čerstvém stavu

Označení směsi	Spotřeba m' [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$]	Objemová hmotnost D_ϵ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
1	6,9	2 030
2	9,1	2 250
3	8,6	2 080
4	7,2	2 320
5	8,7	2 500

Graf 4 – Spotřeba materiálu v čerstvém stavu m' [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$]



Graf 5 - Objemová hmotnost v čerstvém stavu D_ϵ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

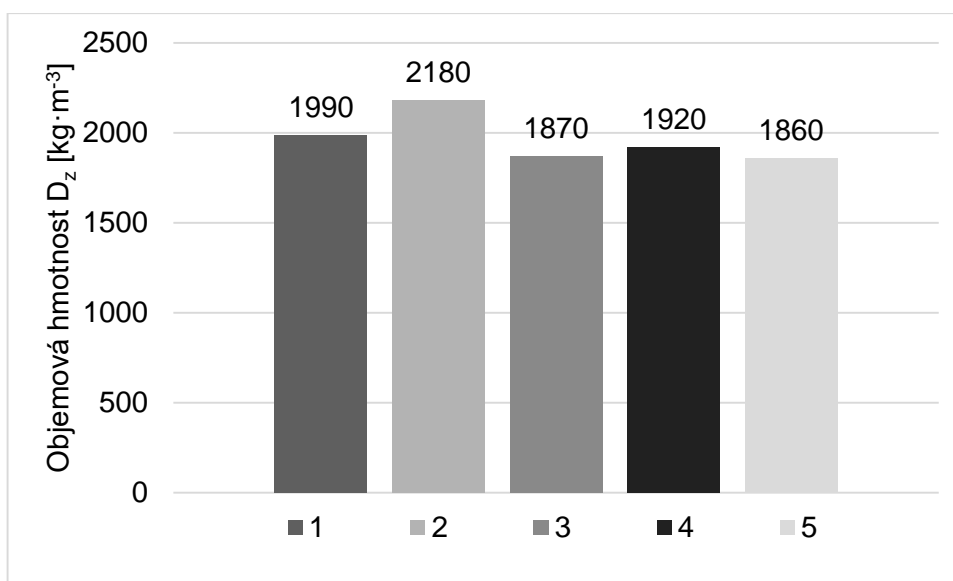


6.2 Objemová hmotnost a pevnosti v ztvrdlém stavu

Tabulka 2 - Vlastnosti v ztvrdlém stavu po 28 dnech

Označení směsi	Objemová hmotnost D_z [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Pevnost v tahu za ohybu R_f [MPa]	Pevnost v tlaku R_c [MPa]
1	1 990		
2	2 180		
3	1 870		
4	1 920		
5	1 860		

Graf 6 - Objemová hmotnost v ztvrdlém stavu D_z [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]



Veškeré konkrétní výsledky a záznamy z měření jsou uvedeny v neveřejné verzi bakalářské práce, která je uložena na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě stavební.

6.3 Tloušťka stěrky a ohrusnost

Tabulka 3 - Tloušťka stěrky v ztvrdlém stavu

Označení směsi	Tloušťka stěrky d [mm]
1-a	4,0
1-b	4,0
2-a	4,0
2-b	4,0
3-a	4,0
3-b	5,0
4-a	3,0
4-a	4,0
5-a	5,0
5-b	6,0

Veškeré konkrétní výsledky a záznamy z měření jsou uvedeny v neveřejné verzi bakalářské práce, která je uložena na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě stavební.

6.4 Přídržnost k betonovému podkladu

Veškeré konkrétní výsledky a záznamy z měření jsou uvedeny v neveřejné verzi bakalářské práce, která je uložena na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě stavební.

6.5 Mrazuvzdornost

Veškeré konkrétní výsledky a záznamy z měření jsou uvedeny v neveřejné verzi bakalářské práce, která je uložena na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě stavební.

6.6 Stanovení odolnosti povrchu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek

Veškeré konkrétní výsledky a záznamy z měření jsou uvedeny v neveřejné verzi bakalářské práce, která je uložena na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě stavební.

V. VÝSLEDKY A DISKUZE

Bylo zkoumáno 5 směsí AAM.

Na zkušebních vzorcích byly provedeny následující zkoušky a měření: objemová hmotnost a spotřeba v čerstvém stavu, během 28 dní byla sledována tvorba trhlin, po 28 dnech byla stanovena objemová hmotnost v ztvrdlém stavu, pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku, ohrusnost, přídržnost k betonovému podkladu, mrazuvzdornost a odolnost povrchu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek.

Materiál v čerstvém stavu je velmi lepivý až „medové“ konzistence. Na betonový podklad byl nanášen zednickou lžící a hladítkem. Zkušební vzorky na stanovení pevností, objemových hmotností, mrazuvzdornosti a odolnosti proti působení vody a CHRL byly vyrobeny v trojformě na trámečky 40 × 40 × 160 mm a byly hutněny na vibračním stole. Spotřeba AAM se měnila s objemovou hmotností AAM.

Pevnosti v tahu za ohybu i v tlaku dosahovaly u všech zkušebních těles ze zkoumaných receptur dostačujících hodnot, s přihlédnutím k tomu, že pevnosti nejsou prvořadou vlastností pro použití AAM v agresivních prostředích. Všechny pevnosti byly stanoveny po 28 dnech.

Důležité byly zkoušky prováděné na tenké vrstvě AAM na betonovém podkladu.

Ohrusnost je velmi důležitou vlastností kanalizačních materiálů.

Veškeré konkrétní výsledky a diskuze je uvedena v neveřejné verzi bakalářské práce, která je uložena na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě stavební.

VI. ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývala vlastnostmi a trvanlivostí alkalicky aktivovaných materiálů. Cílem bylo vyhodnotit možnost jejich použití v agresivních prostředích jako ochranné vrstvy betonových kanalizačních dílců se zaměřením zejména na místa s působením mrazu a chemických rozmrazovacích látek a abrazivních účinků.

Aby mohl být AAM použit jako ochranná vrstva betonu, musel by svými vlastnostmi předčít beton. AAM mají velmi perspektivní vlastnosti, což bylo ukázáno v teoretické části této práce. Na konečné vlastnosti daného materiálu má vliv velké množství proměnných. Vlastností se mění s použitím základního materiálu a s aktivátorem. Proto je nutné každý materiál zkoumat zvlášť s ohledem na jeho využití. Při tenkovrstvých aplikacích bude důležité zamezení vzniku trhlin pro zlepšení trvanlivosti AAM. Je možné, že vhodnou kombinací různých přísad by mohl vzniknout AAM s velmi vysokohodnotnými vlastnostmi pro použití v agresivních prostředích kanalizací.

Úplná verze závěru je uvedena v neveřejné verzi bakalářské práce, která je uložena na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě stavební.

VI. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] PYTLÍK, Petr. *Vlastnosti a užití stavebních výrobků*. Brno: VUTIUM, 1998. ISBN 80-214-1123-6.
- [2] NYPL, Vladimír a Marcela SYNÁČKOVÁ. *Zdravotně inženýrské stavby 30: stokování*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-010-1729-X.
- [3] PYTLÍK, Petr. *Technologie betonu*. 2. vyd. Brno: VUTIUM, 2000. Učebnice (VUTIUM). ISBN 80-214-1647-5.
- [4] ČSN EN 1917. *Vstupní a revizní šachty z prostého betonu, drátkobetonu a železobetonu*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [5] ČSN EN 476. *Všeobecné požadavky na stavební dílce kanalizačních systémů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [6] ČSN EN 1916. *Trouby a tvarovky z prostého betonu, drátkobetonu a železobetonu*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [7] HELA, Rudolf. *Technologie stavebních dílců*. Brno: VUT Brno, 2005. Studijní opory.
- [8] ŠŤASTNÝ, Antonín. *Studium vlastností betonu s rozptýlenou výztuží, určeného pro výrobu betonových vejčitých trub*. Brno, 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Adam Hubáček, Ph.D.
- [9] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. *Příručka stokování a čištění*. Vyd. 1. Brno: NOEL 2000, c2001. ISBN 80-860-2030-4.
- [10] EUTIT, S. R. O. *Dlaždice, kanalizace a potrubí z taveného čediče - EUTIT - slévárna čediče* [online]. 2010 [cit. 2016-03-04]. Dostupné z: <http://www.eutit.cz/>

- [11] EUTIT, S. R. O. *Katalogový list Tavený čedič* [online]. 2003 [cit. 4. 3. 2016]. Dostupné z: http://www.eutit.cz/files/ke_stazeni/e01_cedic_cj.pdf
- [12] EUTIT, S. R. O. *Technický list Eufix S* [online]. 2016 [cit. 5. 3. 2016]. Dostupné z: http://www.eutit.cz/files/ke_stazeni/eufix_s.pdf
- [13] SOKOLÁŘ, Radomír. *Speciální keramika: Keramické obkladové prvky, kamenina*. Brno: VUT BRNO, 2006. Studijní opory.
- [14] HOBAS CZ SPOL. S R.O. *HOBAS Sklolaminátové trouby (GRP)* [online]. 2015 [cit. 2016-03-16]. Dostupné z: <http://www.hobas.cz/>
- [15] PIPELIFE CZECH S.R.O. *Kanalizační systémy - Technický manuál*. 2015. Dostupné také z: http://www.pipelife.cz/media/cz/pdf_products/KANALIZACNI_SYSTEMY_TECHNICKY_MANUAL_2015.pdf
- [16] BODNÁROVÁ, Lenka. *Kompozitní materiály*. Brno: VUT Brno, 2007. Studijní opory.
- [17] MATOUŠOVÁ, Lucie. *Návrh a ověření vlastností alkalicky aktivovaného kompozitního materiálu s vláknovou výztuží*. Brno, 2010. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Lenka Bodnárová, PhD.
- [18] SVOBODA, Luboš. *Stavební hmoty*. 2. přeprac. a dopl. vyd. Bratislava: Jaga, 2007. ISBN 978-80-8076-057-1.
- [19] SHI, Caijun, P KRIVENKO a D ROY. *Alkali-activated cements and concretes*. New York: Taylor, 2006. ISBN 04-157-0004-3.
- [20] ŠKVÁRA, František. *Alkalicky aktivované materiály - geopolymery. Informátor: Česká společnost pro výzkum a využití jílu*. 2007, (37). ISSN 1802-2499.
- [21] PANSKÝ, Miroslav. *Návrh geopolymerní matrice s využitím druhotných surovin*. Brno, 2008. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně,

Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce
Ing. Lenka Bodnárová, PhD.

- [22] DUXSON, P., A. FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, J. PROVIS, G. LUKEY, A. PALOMO a J. VAN DEVENTER Geopolymer technology: the current state of the art. *Journal of Materials Science* [online]. 2007, **42**(9), 2917-2933 [cit. 2016-03-19]. DOI: 10.1007/s10853-006-0637-z. ISSN 0022-2461. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10853-006-0637-z>
- [23] ČESKÉ LUPKOVÉ ZÁVODY, A.S. ČLUZ a.s. : *žáruvzdorná ostřiva - lupek a kaolín* [online]. 2016 [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://www.cluz.cz/>
- [24] ROVNANÍK, Pavel a Pavla ROVNANÍKOVÁ. *Stavební chemie*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2014. Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia. ISBN 978-80-7204-901-1.
- [25] BYDŽOVSKÝ, Jiří. *Vlastnosti a užití stavebních materiálů v konstrukcích*. Brno: VUT BRNO, 2007. Studijní opory.
- [26] SINGH, B., G. ISHWARYA, M. GUPTA a S.K. BHATTACHARYYA Geopolymer concrete: A review of some recent developments. *Construction and Building Materials* [online]. 2015, **85**, 78-90 [cit. 2016-03-20]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.03.036. ISSN 09500618. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061815002834>
- [27] KOTLÍK, Petr. *Stavební materiály historických objektů: materiály, koroze, sanace*. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1999. ISBN 80-708-0347-9. Dostupné také z: http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-347-9/pages-pdf/obsah.html
- [28] BERNAL, Susan, John PROVIS a D. GREEN Durability of Alkali-Activated Materials: Progress and Perspectives. *Journal of the American Ceramic Society* [online]. 2014, **97**(4), 997-1008 [cit. 2016-04-02]. DOI: 10.1111/jace.12831. ISSN 00027820. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/jace.12831>

- [29] ŠAFÁŘ, Martin. *Trvanlivost alkalicky aktivovaných systémů*. Brno, 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická. Vedoucí práce Ing. Lukáš Kalina, Ph.D.
- [30] GUTIÉRREZ-PADILLA, Ma., Angela BIELEFELDT, Serguei OVTCHINNIKOV, Mark HERNANDEZ a Joann SILVERSTEIN. Biogenic sulfuric acid attack on different types of commercially produced concrete sewer pipes. *Cement and Concrete Research* [online]. 2010, **40**(2), 293-301 [cit. 2016-04-03]. DOI: 10.1016/j.cemconres.2009.10.002. ISSN 00088846. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0008884609002853>
- [31] BAKHAREV, T, J.G SANJAYAN a Y.-B CHENG. Resistance of alkali-activated slag concrete to acid attack. *Cement and Concrete Research* [online]. 2003, **33**(10), 1607-1611 [cit. 2016-04-03]. DOI: 10.1016/S0008-8846(03)00125-X. ISSN 00088846. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S000888460300125X>
- [32] MOHEBI, Reza, Kiachehr BEHFARNIA a Mohammad SHOJAEI. Abrasion resistance of alkali-activated slag concrete designed by Taguchi method. *Construction and Building Materials* [online]. 2015, (98), 792-798 [cit. 2016-04-14]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.128. ISSN 09500618. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061815303457>
- [33] HU, Shuguang, Hongxi WANG, Gaozhan ZHANG a Qingjun DING. Bonding and abrasion resistance of geopolymeric repair material made with steel slag. *Cement and Concrete Composites* [online]. 2008, **30**(3), 239-244 [cit. 2016-04-10]. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2007.04.004. ISSN 09589465. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0958946507000662>
- [34] LLOYD, Redmond, John PROVIS, Kevin SMEATON a Jannie VAN DEVENTER. Spatial distribution of pores in fly ash-based inorganic polymer gels visualised by Wood's metal intrusion. *Microporous and Mesoporous Materials* [online]. 2009, **126**(1-2), 32-39 [cit. 2016-04-14]. DOI: 10.1016/j.micromeso.2009.05.016. ISSN 13871811. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1387181109002595>

- [35] TEMUJJIN, Jadambaa, William RICKARD, Melissa LEE a Arie VAN RIESSEN. Preparation and thermal properties of fire resistant metakaolin-based geopolymer-type coatings. *Journal of Non-Crystalline Solids* [online]. 2011, **357**(5), 1399-1404 [cit. 2016-04-09]. DOI: 10.1016/j.jnoncrysol.2010.09.063. ISSN 00223093. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022309310007106>
- [36] WIYONO, David, ANTONI a Djwantoro HARDJITO. Improving the Durability of Pozzolan Concrete Using Alkaline Solution and Geopolymer Coating. *Procedia Engineering* [online]. 2015, (125), 747-753 [cit. 2016-04-10]. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.11.121. ISSN 18777058. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705815034384>
- [37] ZHANG, Zuhua, Xiao YAO a Huajun ZHU. Potential application of geopolymers as protection coatings for marine concrete: I. Basic properties. *Applied Clay Science* [online]. 2010, **49**(1-2), 1-6 [cit. 2016-04-10]. DOI: 10.1016/j.clay.2010.01.014. ISSN 01691317. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169131710000281>
- [38] ZHANG, Zuhua, Xiao YAO a Huajun ZHU. Potential application of geopolymers as protection coatings for marine concrete: II. Microstructure and anticorrosion mechanism. *Applied Clay Science* [online]. 2010, **49**(1-2), 7-12 [cit. 2016-04-10]. DOI: 10.1016/j.clay.2010.04.024. ISSN 01691317. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169131710001353>
- [39] KUENZEL, C., L. LI, L. VANDEPERRE, A.R. BOCCACCINI a C.R. CHEESEMAN Influence of sand on the mechanical properties of metakaolin geopolymers. *Construction and Building Materials* [online]. 2014, (66), 442-446 [cit. 2016-03-31]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.05.058. ISSN 09500618. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095006181400542X>

VII. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Popis součástí vstupních a revizních šachet [4]	13
Obrázek 2 - Schéma uložení trub při zkoušce vodotěsnosti při zatížení smykem [6]	18
Obrázek 3 - Čedičový obklad dna betonové prefabrikované trouby [10].....	20
Obrázek 4 - Chemická struktura AAM [15]	23
Obrázek 5 - Zjednodušený mechanismus geopolymerizace [21].....	24
Obrázek 6 - Vzhled vzorků po 2 měsících v roztoku kyseliny octové (pH = 4): (a) AAM na bázi strusky, (b) PC beton [31]	32
Obrázek 7 - Mikrostruktura AAM na bázi strusky po 6 měsících v kyselině octové [31]	33
Obrázek 8 – Schéma prováděných zkoušek.....	40

VIII. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Vlastnosti v čerstvém stavu	49
Tabulka 2 - Vlastnosti v ztvrdlém stavu po 28 dnech.....	50
Tabulka 3 - Tloušťka stěrky v ztvrdlém stavu	51

IX. SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 – Porovnání pevností PC betonu a AAM na bázi strusky po uložení v kyselině octové a po uložení ve vodě [31].....	31
Graf 2 – Porovnání hloubky poklesu pH u PC betonu a AAM na bázi strusky [31]	31
Graf 3 – Porovnání výšky obrusu u PC materiálu a AAM [33].....	34
Graf 4 – Spotřeba materiálu v čerstvém stavu m' [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$]	49
Graf 5 - Objemová hmotnost v čerstvém stavu D_c [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]	49
Graf 6 - Objemová hmotnost v ztvrdlém stavu D_z [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]	50

X. SEZNAM ZKRATEK

DN – jmenovitý vnitřní průměr potrubí

SCC – samozhutnitelný beton

GRP – sklolaminát

PE HD – vysokohustotní polyetylén

PVC – polyvinylchlorid

PP – polypropylén

AAM – alkalicky aktivovaný materiál

M_z – modul zásaditosti

C_2S – dicalciumsilikát, belit

ASTM – American Society for Testing and Materials

M_s – silikátový modul

PC – portlandský cement

XRD – rentgenová difrakční analýza

SEM - skenovací elektronová mikroskopie

MIP – vysokotlaková rtuťová porozimetrie

CSH – kalcium silikátový hydrát

XI. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1

Příloha 2 – Technický list Mikrosilika RW-Füller

Příloha 3 – Technický list Cement CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R

Příloha 4 – Technický list Jemný sklářský písek STJ 25

PŘÍLOHA 1

Příloha 1 je uvedena v neveřejné verzi bakalářské práce, která je uložena na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě stavební.

PŘÍLOHA 2

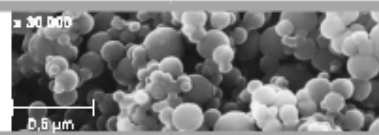
Produktspezifikation
Technical data sheet
Fiche produit



RW silicium GmbH

Rottwerk Pocking

SiO₂ „RW-Füller“
Mikrosilica
Silicafume
Acide silicique



Ein trockener Feinstaub (amorphe Kieselsäure), der bei der metallurgischen Erzeugung von Silicium im Lichtbogenofen entsteht.

A dry powder (amorphous silica), obtained by the metallurgical process of silicon in an electrical arc furnace.

Une poudre sèche (amorphe acide silicique), obtenue par procédé métallurgique de métal de silicium dans un four à arc.

Haupteinsatzgebiete:

- Mörtel und Massen
- Wärmedämmstoffe
- keramische und feuerfeste Erzeugnisse

Main application:

- mortars and castables
- insulating materials
- ceramic and refractory products

Applications principales:

- mortier et masses
- matériaux isolants
- produits réfractaires et céramiques

Chemische Durchschnittsanalyse
(wasserfreie Substanz)

Average analysis
(dry material)

Analyse chimique typique
(sans eau)

	typisch / typical / typique	
SiO ₂ (diff.)	96,0 % ± 1,50 %	
SiC	0,60 % max. 0,90 %	
MgO	0,25 % max. 0,40 %	
Al ₂ O ₃	0,20 % max. 0,30 %	
CaO	0,30 % max. 0,45 %	
Na ₂ O	0,08 % max. 0,12 %	
K ₂ O	0,50 % max. 0,90 %	
Fe ₂ O ₃	0,05 % max. 0,15 %	
Glühverlust loss on ignition (1023 K)	1,20 % max. 2,00 %	
perte au feu		
Trockenverlust moisture (383 K)	0,05 % max. 0,90 %	
humidité		
C _{frei}		
C _{frei}	0,70 % max. 1,60 %	
C _{libre}		

Helligkeitsfaktor L*

Brightness-Factor L*

Clarté métrique L*

57 – 68

pH

7,9 ± 0,5

Schüttdichte

(lose im Silo-LKW)

Bulk density

(bulk by lorry)

Densité en vrac

(en vrac en camion citerne)

ca. 200 kg/m³

Stampfdichte

(Papiersäcke)

Rammed density

(paper bags)

Densité après damage

(sac de papier)

300 – 360 kg/m³

Röntgenbeugungsanalyse

X-ray diffraction

Analyse à rayons X

amorph

amorphous

amorph

Spezifische Oberfläche (BET)

Specific surface (BET)

Surface spécifique (BET)

18 – 22 m²/g

Körnung	Primärpartikel		
Screen analysis	primary particles		ca. 0,1 – 0,3 µm
Granulométrie	grain primaire		
	Sekundärpartikel (Agglomerate)		
	Secondary particles (agglomerates)	> 1 µm	30 %
	Grain secondaire (agglomerate)	> 10 µm	5 %
Grobkornanteile			
Coarse fraction		> 45 µm	ca. 1,5 %
Fraction de particules			

Verpackung: - 20 kg (± 0,5) Papiersäcke, palettiert und verschrumpft

- in Big Bags, palettiert und verschrumpft
- lose verladen im Silo-LKW

Packing: - in 20 kg (± 0,5) paper bags on pallets and shrinked

- in big bags on pallets and shrinked
- in bulk by lorry

Emballage: - en 20 kg (± 0,5) sacs de papier sur palettes avec housse plastique

- en big bags sur palettes avec housse plastique
- en vrac en camion citerne

Zu Beachten: - Art und Häufigkeit von Agglomeraten in Mikrosilica-Pulvern sind durch uns nicht beeinflussbar

- Mehraufwendungen und daraus resultierende Ansprüche des Verarbeiters aufgrund der Zerstörung der Mikrosilica-Agglomerate werden von uns nicht übernommen
- Vor Feuchtigkeit und Verunreinigungen schützen
- Bei sachgerechter Lagerung unbegrenzt haltbar.

Take note: - Type and frequency of agglomerates in silica fume cannot be influenced.

- Additional expenses and resulting claims of the processor due to the destruction of microsilica agglomerates are not accepted.
- Protect from moisture and contaminations.
- When stored properly the product will have an indefinite shelf-life.

Remarque: - Nous n'avons aucune influence sur le type et la fréquence des agglomérats dans les poudres micro-silice.

- Les frais supplémentaires et les demandes de remboursements du transformateur pour la destruction des agglomérats de micro-silice ne sont pas pris en charge.
- Protéger de l'humidité et des impuretés.
- Dans les conditions de stockage appropriées, l'utilisation du produit est d'une durée illimitée

Alle Daten sind Richtwerte, die einer produktionsbedingten Toleranz unterliegen.

All data refer to analysis according to RW silicium-standards and can be subject to variations due to technical processes.

Toutes les valeurs sont donnée à titre indicatif. Elles sont obtenues par les méthodes d'analyse des RW silicium et sont soumises aux tolérances de variation de production.

Ansprechpartner Vertrieb

Contact Sales

Contact débit

Herr C. Lengdobler

Tel.: +49(0)8531/702-33

Fax.: +49(0)8531/702-99

E-Mail: c.lengdobler@silicium.de

Lieferwerk

Delivery plant

Lieu de livraison

RW silicium GmbH

Wöhlerstraße 30

D-94060 Pocking

RW silicium GmbH

Postfach / p/o-box

boîte postale 1147

D-94052 Pocking

PŘÍLOHA 3

CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R

Portlandský směsný cement

EN 197-1

Výrobní závod: Mokrý

Výrobce: Českomoravský cement, a.s.

Technický list

Vlastnost	Průměrná hodnota	Jednotka	Metoda / poznámka
Mechanické vlastnosti			
pevnost v tlaku	1 den	9	[MPa] EN 196-1
	2 dny	20	[MPa] EN 196-1
	7 dní	35	[MPa] EN 196-1
	28 dní	48	[MPa] EN 196-1
	56 dní	52	[MPa] EN 196-1
	90 dní	57	[MPa] EN 196-1
pevnost v tahu za ohybu	1 den	2	[MPa] EN 196-1
	2 dny	4	[MPa] EN 196-1
	7 dní	6	[MPa] EN 196-1
	28 dní	8	[MPa] EN 196-1
	56 dní	9	[MPa] EN 196-1
	90 dní	9	[MPa] EN 196-1
Fyzikální vlastnosti			
normální konzistence	29,3	[%]	EN 196-3
počátek tuhnutí	195	[min]	EN 196-3
konec tuhnutí	250	[min]	EN 196-3
objemová stálost	1,0	[mm]	EN 196-3, Le Chatelier
měrný povrch	529	[m ² .kg ⁻¹]	EN 196-6, permeabilní metoda (Blaine)
střední zrna d(0,5)	12,3	[μm]	laserový granulometr
zbytek na síti	20 μm	33,0	[%] laserový granulometr
	45 μm	6,6	[%] laserový granulometr
	90 μm	0,4	[%] laserový granulometr
	125 μm	0,4	[%] laserový granulometr
	200 μm	0,3	[%] laserový granulometr
	250 μm	0,2	[%] laserový granulometr
měrná hmotnost	3050	[kg.m ⁻³]	ČSN EN 196-6
sypná hmotnost	v cisterně	920	[kg.m ⁻³] Přibližná hodnota při ložení cementu do autocisterny.
	v síle	1200-1600	[kg.m ⁻³] Odhad při uskladnění v síle. Sypná hmotnost se mění v závislosti na míře setřesení výrobku, době uskladnění nebo velikosti a zaplnění síle.
barevnost	L*	68	- Kolorimetrické měření v barevném prostoru CIELAB na cementu v práškové formě. Zdroj osvětlení D65 / 10°.
	a*	-1	-
	b*	8	-
hydratační teplo	7 dní	280	[J.g ⁻¹] EN 196-8

Hodnoty uvedené v technickém listě mají čistě informativní charakter a mohou se lišit od hodnot konkrétních vzorků. Před jejich porovnáním s vlastnostmi jiných výrobků se prosím ujistěte, že všechna porovnávaná data byla získána pomocí totožných zkušebních postupů. V případě pochybností nás neváhejte kontaktovat.

Českomoravský cement, a.s.
Technická podpora prodeje
technicka.podpora@cmcem.cz

www.cmcem.cz

**ČESKOMORAVSKÝ
CEMENT**
HEIDELBERGCEMENT Group

CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R

Portlandský směsný cement

EN 197-1

Výrobní závod: Mokrá

Výrobce: Českomoravský cement, a.s.

Technický list

Vlastnost	Průměrná hodnota	Jednotka	Metoda / poznámka
Chemické vlastnosti			
obsah	CaO	62	[%]
	SiO ₂	19	[%]
	Al ₂ O ₃	5	[%]
	Fe ₂ O ₃	3	[%]
	MgO	2	[%]
	SO ₃	2,7	[%]
	S ^{II-}	0,04	[%]
	Cl ⁻	0,048	[%]
	K ₂ O	0,78	[%]
	Na ₂ O	0,13	[%]
Na ₂ O ekvivalent	0,59	[%]	EN 196-2, XRF, (Na ₂ O + 0,658.K ₂ O)
nerozpustný zbytek	1,47	[%]	EN 196-2
ztráta žháním	8,6	[%]	EN 196-2
Složení			
obsah slínku	76	[%]	Z hmotnosti konečného cementu, tj. včetně obsahu síranu vápenatého a případných přísad.
Složení slínku			
obsah	MgO	1,4	[%]
	C ₃ S	67	[%]
	C ₂ S	11	[%]
	C ₃ A	7	[%]
	C ₄ AF	11	[%]

V případě, že je cement dodáván redukováný, obsahuje ve smyslu Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) 1907/2006 přílohy XVII, čl. 47, redukční činidlo, které po smíchání s vodou snižuje obsah Cr6+ pod 0,0002 % a je účinné nejméně po dobu skladování cementu, po kterou musí být cement chráněn před působením vody a vysoké relativní vlhkosti vzduchu (nejvýše 75 %). Za těchto podmínek je redukční činidlo účinné 90 dnů od data uvedeného na obalu (balený cement) nebo od data expedice (volně ložený cement).

Hodnoty uvedené v technickém listě mají čistě informativní charakter a mohou se lišit od hodnot konkrétních vzorků. Před jejich porovnáním s vlastnostmi jiných výrobků se prosím ujistěte, že všechna porovnávaná data byla získána pomocí totožných zkušebních postupů. V případě pochybností nás neváhejte kontaktovat.

Českomoravský cement, a.s.
Technická podpora prodeje
technicka.podpora@cmcem.cz

www.cmcem.cz

**ČESKOMORAVSKÝ
CEMENT**
HEIDELBERG CEMENT Group

PŘÍLOHA 4



Sklopísek Střeleč, a.s. | Hrdoňovice 80, 507 45 Újezd pod Troskami
 Tel.: +420 493 505 111 | Fax: +420 493 505 328 | IČO: 44795688 | DIČ: CZ44795688
 Registrováno v OR u Krajského soudu v Hr. Králové, 5. 12. 1991, odd. B, vl. 1093
 Bankovní spojení: ČSOB a.s., č. ú. 17645673/0300
 web: www.sklopisek.cz | e-mail: sklopisek@sklopisek.cz

SKLÁŘSKÉ PÍSKY JEMNÉ

Písky s extrémně vysokým obsahem SiO_2 jsou vynikající surovinou pro sklářský průmysl, pro výroby silikátové chemie a dále pro nejrůznější použití v dalších oblastech průmyslu.

Písky se dodávají vlhké, sušené, volně ložené nebo balené, pro nakládku na silniční nebo železniční dopravní prostředky.

ZRNITOSTNÍ DATA A VLASTNOSTI TÝKAJÍCÍ SE VELIKOSTI ČÁSTIC

	STJ 10	STJ 12	STJ 25		Metody
Velikost středního zrna (d50)	0,21	0,19	0,18	mm	sítování
AFS	65	71	74		sítování
sytná hmotnost	1,41	1,41	1,41	kg/l	
> 800 μm				%	sítování
> 630 μm				%	sítování
> 500 μm				%	sítování
> 400 μm	0,5	0,4	0,33	%	sítování
> 315 μm	5	4,5	3,5	%	sítování
> 200 μm	54	40,5	35,4	%	sítování
> 100 μm	38	52	57,5	%	sítování
> 63 μm	2	2,4	3,04	%	sítování
< 63 μm	0,5	0,2	0,23	%	sítování

CHEMICKÉ ANALÝZY (RFA) %

	STJ 10	STJ 12	STJ 25
SiO_2	99,7	99,7	99,3
Fe_2O_3	0,010	0,012	0,025
Al_2O_3	0,1	0,15	0,3
TiO_2	0,02	0,03	0,15

FYZIKÁLNÍ CHARAKTERISTIKA

hustota (g/ml)	2,65	vlhkost v mokrému stavu (%)	8,0 max
tvrdost, Mohs	7	vlhkost v sušeném stavu (%)	0,2 max
ztráta žíháním (%)	0,06 - 0,25	pH	7,3

Křemenný písek ze Střelče je upravená přírodní surovina. Výše uvedené informace jsou založeny na středních hodnotách. Data by měla být považována pouze za indikativní. Hrubší a jemnější podíly jsou ve stopových množstvích možné. Uživatelé přísluší, aby nejprve otestovali a posoudili vhodnost použití pro svůj účel. O případných tolerancích výše uvedených hodnot výrobků je možné jednat.

Prodej a dodávání je vždy na základě sjednaných obchodních podmínek a podle příslušné podnikové normy nebo kvalitativní dohody.

Datum revize: 1.5.2016

KATALOG PRODUKTŮ